

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Модернізація технологічної лінії з підготовки
зерна кукурудзи до зберігання**

Виконав: здобувач вищої освіти 3
скороченого курсу, групи ХТС-1-23 освітньо-
професійної програми «Харчові технології» зі
спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Дмитро КАРНАУХ

Керівник: _____ Оксана БЕРЗЕНІНА

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Карнауху Дмитру Олександровичу

1. Тема роботи: «Модернізація технологічної лінії з підготовки зерна кукурудзи до зберігання».

Керівник роботи: Берзеніна Оксана Валеріївна, кандидатка технічних наук, доцентка, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія первинної обробки зерна кукурудзи.

2. Наукова, нормативна, навчальна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Охорона праці захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Карта безпеки праці. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Доцент БЕРЗЕНІНА Оксана	01.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-04.05.26	виконано
2	Загальна частина	05.05-07.05.26	виконано
3	Технологічна частина	08.05-14.05.26	виконано
4	Проектна частина	15.05-21.05.26	виконано
5	Впровадження елементів системи НАССР	22.05-31.05.26	виконано
6	Охорона праці захист навколишнього середовища	01.06-02.06.26	виконано
7	Техніко-економічне обґрунтування	02.06-03.06.26	виконано
8	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.26	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	05.06-08.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Дмитро КАРНУАХ
(підпис)

Керівник роботи _____ Оксана БЕРЗЕНІНА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: **«Модернізація технологічної лінії з підготовки зерна кукурудзи до зберігання»**

Кваліфікаційна робота містить: 67 сторінок, 9 рисунків, 10 таблиць, 26 літературних джерел.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки зерна кукурудзи до зберігання на елеваторному підприємстві.

Предметом дослідження є технологічні параметри та обладнання лінії приймання, очищення, сушіння, активного вентилявання, транспортування і зберігання зерна кукурудзи.

Метою дипломної роботи є обґрунтування модернізації технологічної лінії з підготовки зерна кукурудзи до зберігання шляхом удосконалення операцій приймання, очищення, сушіння, активного вентилявання та розміщення зерна для підвищення продуктивності елеватора і збереження якості зернової маси.

У роботі розглянуто сучасний стан елеваторної галузі України, значення кукурудзи як однієї з основних зернових культур, а також особливості її післязбиральної обробки. Проаналізовано діючу технологічну схему приймання, очищення, сушіння, транспортування, зберігання та відвантаження зерна кукурудзи.

Встановлено, що одним із проблемних місць технологічної лінії є обробка зерна з підвищеною вологістю в період масового надходження сировини. Для підвищення ефективності роботи елеватора запропоновано встановлення бункерів активного вентилявання зерна, які забезпечують проміжне накопичення, стабілізацію температурно-вологісного стану зернової маси та зменшення навантаження на сушильне обладнання. Запропонована модернізація спрямована на підвищення продуктивності лінії, збереження якості зерна, зменшення ризику самозігрівання та покращення економічних показників роботи підприємства.

Ключові слова: кукурудза; зерно; елеватор; зберігання; очищення; сушіння; активне вентилявання; бункер; силос; модернізація.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	9
1.1 Аналіз елеваторної промисловості України та обсяги заготівлі зерна кукурудзи.....	9
1.2 Характеристика зерна кукурудзи, як об'єкту первинної обробки.....	13
Висновки за розділом.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Опис діючої технологічної лінії	19
2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з первинної обробки зерна кукурудзи.....	23
2.3 Характеристика технологічної лінії після модернізації (удосконалення).....	25
Висновки за розділом.....	31
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	32
3.1 Технологічний розрахунок та визначення кількості технологічного обладнання.....	32
3.2 Характеристика обладнання удосконаленої технологічної лінії	38
3.3 Особливості компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні цеху.....	43
Висновки за розділом.....	47
4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР	49
Висновки за розділом.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	52
5.1 Розробка карти безпеки праці під час первинної обробки зерна кукурудзи..	52
5.2 Шляхи утилізації відходів на підприємствах з первинної обробки зерна	54
Висновки за розділом.....	55
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	57
6.1 Вихідні дані для розрахунку.....	57
6.2 Розрахунок капітальних вкладень	58

6.3 Розрахунок додаткового доходу.....	58
6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	59
6.5 Розрахунок строку окупності.....	60
6.6 Основні техніко-економічні показники	61
Висновки за розділом.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
БІБЛІОГРАФІЯ	65

ВСТУП

Зернова галузь є однією з провідних складових агропромислового комплексу України, оскільки забезпечує продовольчу безпеку держави, формує значну частину експортного потенціалу та є сировинною базою для харчової, комбікормової, крохмале-патокової, спиртової та інших галузей промисловості. Серед основних зернових культур важливе місце займає кукурудза, яка характеризується високою врожайністю, значною енергетичною цінністю та широким спектром використання.

Кукурудза використовується для виробництва крупи, борошна, крохмалю, патоки, сиропів, рослинної олії, комбікормів, біоетанолу та інших продуктів переробки. Водночас вона є складним об'єктом післязбиральної обробки і зберігання. Це пояснюється тим, що зерно кукурудзи часто надходить на елеваторні підприємства з підвищеною та нерівномірною вологістю, містить значну кількість домішок, має великий зародок і характеризується підвищеною інтенсивністю дихання порівняно з багатьма колосовими культурами.

У разі несвоєчасного очищення, сушіння або вентильовання вологе зерно кукурудзи швидко втрачає якість. У зерновій масі можуть розвиватися процеси самозігрівання, пліснявіння, зростання мікробіологічної активності, збільшення кислотного числа жиру, погіршення запаху, кольору та технологічних властивостей. Тому ефективна післязбиральна підготовка кукурудзи є необхідною умовою її безпечного зберігання та подальшого використання.

Елеваторні підприємства виконують важливу роль у системі заготівлі зерна, оскільки забезпечують його приймання, зважування, лабораторний контроль, очищення, сушіння, транспортування, розміщення у сховищах і відвантаження споживачам. Особливо високі вимоги до роботи елеваторів виникають у період масового надходження зерна, коли за короткий час необхідно прийняти та обробити значні обсяги продукції. У таких умовах недосконалість технологічної лінії, недостатня продуктивність сушильного обладнання або відсутність

буферних ємностей для вологого зерна можуть призводити до затримок, перевантаження обладнання, простоїв транспорту та втрат якості зерна.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічних ліній елеваторних підприємств, зокрема під час підготовки зерна кукурудзи до зберігання. Одним із перспективних напрямів модернізації є впровадження бункерів активного вентилявання, які дозволяють стабілізувати стан вологого зерна до його сушіння або зберігання. Таке рішення забезпечує більш рівномірне завантаження сушарки, зменшує ризик самозігрівання зернової маси, покращує умови тимчасового накопичення та підвищує загальну продуктивність елеватора.

Метою дипломної роботи є обґрунтування модернізації технологічної лінії з підготовки зерна кукурудзи до зберігання шляхом удосконалення операцій приймання, очищення, сушіння, активного вентилявання та розміщення зерна для підвищення продуктивності елеватора і збереження якості зернової маси.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан елеваторної промисловості України та обсяги заготівлі зерна кукурудзи;
- охарактеризувати зерно кукурудзи як об'єкт післязбиральної обробки та зберігання;
- проаналізувати діючу технологічну схему підготовки зерна кукурудзи до зберігання та визначити її основні недоліки;
- запропонувати шляхи модернізації та розробити модернізовану технологічну схему підготовки зерна кукурудзи до зберігання;
- обґрунтувати практичну та економічну доцільність запропонованого технічного рішення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки зерна кукурудзи до зберігання на елеваторному підприємстві.

Предметом дослідження є технологічні параметри та обладнання лінії приймання, очищення, сушіння, активного вентилявання, транспортування і зберігання зерна кукурудзи.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз елеваторної промисловості України та обсяги заготівлі зерна кукурудзи

Елеваторна промисловість України є ключовою складовою зернового комплексу, оскільки забезпечує приймання, очищення, сушіння, тимчасове та тривале зберігання, формування партій і відвантаження зерна на внутрішній ринок або експорт. Особливе значення для елеваторної інфраструктури має кукурудза, яка традиційно належить до основних експортноорієнтованих зернових культур України. Її післязбиральна доробка потребує значних потужностей для сушіння та зберігання, оскільки зерно часто надходить на елеватори з підвищеною вологістю.

До 2022 року елеваторна галузь України розвивалася динамічно за рахунок зростання виробництва зернових культур, будівництва сучасних металевих силосів, зерносушильних комплексів, транспортних галерей, лабораторій контролю якості та портових терміналів. У 2021 році Україна збрала рекордний урожай зернових та олійних культур – близько 109 млн т, однак у 2024 році цей показник знизився до 77,5 млн т. Обсяг виробництва саме зернових культур скоротився з 86,0 млн т у 2021 році до 56,2 млн т у 2024 році, що істотно вплинуло на завантаженість елеваторів, таблиця 1.1.

Основними причинами трансформації елеваторної галузі стали воєнні дії, зменшення посівних площ, пошкодження частини інфраструктури, зміна логістичних маршрутів, зростання ролі західних регіонів і перевантажувальних терміналів на кордонах. За оцінками галузевих джерел, унаслідок війни Україна втратила значну частину зерносховищ: від 9 до 13 млн т потужностей, а сумарна місткість елеваторів у 2026 році оцінювалася близько 53 млн т, що приблизно на 4 млн т менше, ніж у 2021 році, рисунок 1.1.

Таблиця 1.1 – Динаміка розвитку елеваторної галузі України

Показник	2021 рік	2024 – 2026 роки	Характер зміни
Валовий збір зернових та олійних культур, млн т	109,0	77,5 у 2024 р.; близько 76,0 у 2025 р.	Скорочення обсягів виробництва
Виробництво зернових культур, млн т	86,0	56,2 у 2024 р.	Зниження навантаження на елеватори
Орієнтовна місткість елеваторів, млн т	близько 57 – 75	близько 53 – 60	Втрата частини потужностей
Основні напрями розвитку	Портові елеватори, великі лінійні комплекси	Західні елеватори, сухі порти, мобільне зберігання	Зміна логістичної моделі
Основні проблеми	Сезонне перевантаження	Руйнування, логістика, енерговитрати	Потреба в модернізації

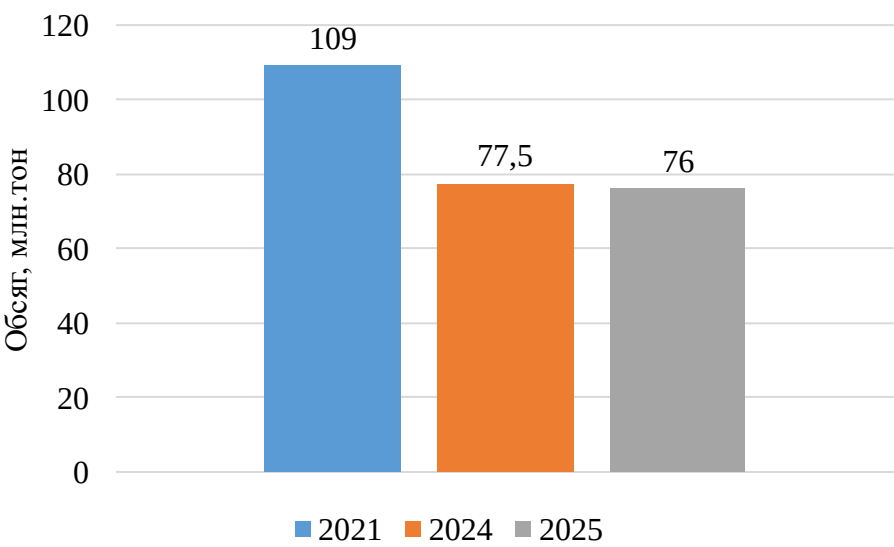


Рисунок 1.1 – Зміна загального виробництва зернових та олійних культур в Україні, млн т

Аналіз показує, що попри скорочення обсягів виробництва, критичного дефіциту елеваторних потужностей наразі не спостерігається. Це пояснюється як

зменшенням валового збору зернових, так і активним використанням альтернативних способів зберігання: полімерних рукавів, біг-бегів, модульних сховищ і тимчасових майданчиків. Водночас така ситуація не зменшує потреби в модернізації елеваторів, особливо щодо енергоощадних зерносушарок, автоматизації приймання, очищення й відвантаження зерна.

Кукурудза займає важливе місце у структурі заготівлі зерна. У 2021 році її валовий збір становив 42,1 млн т, що було найвищим показником за аналізований період. У 2022 році через воєнні дії, скорочення площ і логістичні труднощі виробництво кукурудзи зменшилося до 26,2 млн т. У 2023 році спостерігалось часткове відновлення – до 31,0 млн т, однак у 2024 році обсяг знову знизився до 24,2 млн т., рисунок 1.2.

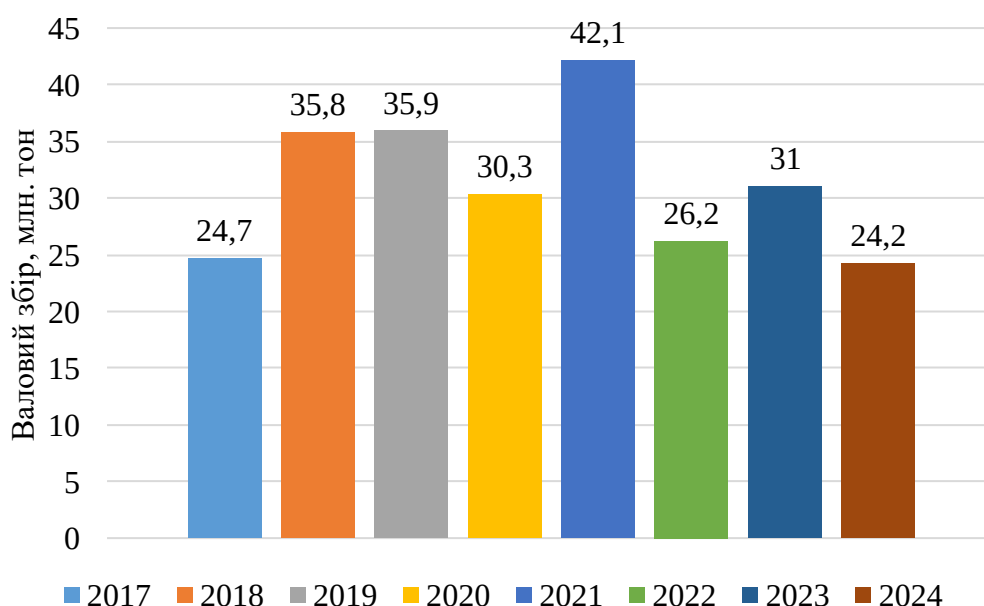


Рисунок 1.2 – Динаміка валового збору кукурудзи в Україні, млн т

З наведених даних видно, що найбільший обсяг заготівлі кукурудзи припадав на 2021 рік – 42,1 млн т. Порівняно з цим рівнем, у 2024 році виробництво зменшилося приблизно на 42,6 %. Зібрана площа за той самий період скоротилася на 31,4 %, а середня врожайність – на 16,2 %. Це свідчить, що зниження валового збору було зумовлене одночасно скороченням площ, погіршенням умов вирощування та впливом воєнних факторів, таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння показників виробництва кукурудзи у 2021 та 2024 роках

Показник	2021 рік	2024 рік	Зміна
Зібрана площа, тис. га	5481,8	3759,9	-31,4 %
Валовий збір, тис. т	42109,8	24160,5	-42,6 %
Урожайність, т/га	7,67	6,43	-16,2 %

У 2025 – 2026 маркетинговому році, за оцінкою USDA, прогноз урожаю кукурудзи в Україні становив 29 млн т, а експорт – 22 млн т. Зниження прогнозу експорту пов’язувалося з логістичними труднощами та повільнішими темпами відвантаження. У першому прогнозі USDA на 2026 – 2027 маркетинговий рік очікується виробництво кукурудзи в Україні на рівні 30 млн т та експорт близько 30 млн т за рахунок більших перехідних залишків, рисунок 1.3.

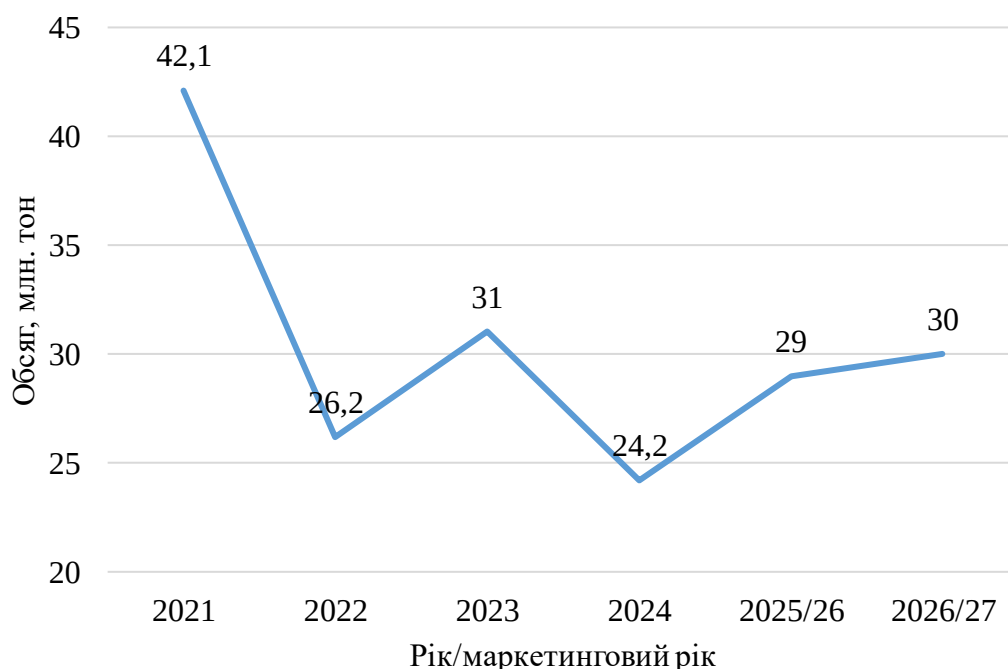


Рисунок 1.3 – Фактичні та прогнозні обсяги виробництва кукурудзи в Україні, млн т

Таким чином, елеваторна промисловість України перебуває у стані структурної перебудови. Якщо до 2022 року основний акцент робився на великі елеваторні комплекси та портову інфраструктуру, то нині зростає значення регіональних елеваторів, прикордонних перевантажувальних терміналів, «сухих

портів» і мобільних систем зберігання. Для зерна кукурудзи особливо важливими залишаються операції сушіння, очищення та формування однорідних партій за якістю. З огляду на коливання обсягів виробництва та високу експортну орієнтацію культури, модернізація елеваторів має бути спрямована на зниження енерговитрат, підвищення продуктивності зерносушильного обладнання, автоматизацію контролю якості та забезпечення гнучкої логістики відвантаження.

1.2 Характеристика зерна кукурудзи, як об'єкту первинної обробки

Кукурудза є однією з найважливіших зернових культур в Україні та світі. Її зерно має широке господарське значення і використовується у харчовій, крохмале-патоковій, спиртовій, олійно-жировій, комбікормовій та біоенергетичній промисловості.

Кремениста кукурудза має переважно округлу форму зернівки, блискучу поверхню та щільний рогоподібний ендосперм у зовнішній частині. Центральна частина зерна є більш борошнистою. Таке зерно відзначається підвищеною стійкістю до механічного пошкодження, тому воно краще зберігається та менше травмується під час транспортування. Зубоподібна кукурудза, навпаки, має видовжену зернівку з характерним заглибленням на верхівці. У бокових частинах зерна розміщений щільний ендосперм, а центральна частина містить більше борошнистої крохмалистої тканини. Саме зубоподібні та напівзубоподібні форми найбільш поширені у виробництві зерна.

Початок кукурудзи складається зі стрижня та зернівок, розміщених правильними рядами. Зернівка кукурудзи має плодову і насінневу оболонки, ендосперм та зародок. Особливістю кукурудзяного зерна є порівняно великий зародок, який може становити до 10 – 15 % маси зернівки. У зародку зосереджена значна частина жиру, ферментів, вітамінів і біологічно активних речовин, тому саме він є найбільш чутливою частиною зерна до зволоження, пліснявіння та механічного пошкодження.

Хімічний склад зерна кукурудзи залежить від сорту, гібриду, умов вирощування, ступеня стиглості, вологості та режимів післязбиральної обробки. У середньому зерно кукурудзи містить 65 – 70 % вуглеводів, 9 – 12 % білка, 4 – 8 % рослинної олії, близько 2 % клітковини, а також мінеральні речовини, вітаміни групи В, вітамін Е, каротиноїди та інші біологічно цінні компоненти. Основна частина крохмалю міститься в ендоспермі, тоді як жир, ферменти та частина білкових речовин переважно локалізовані в зародку. Саме тому пошкодження зародка або підвищення його вологості швидко активізує біохімічні та мікробіологічні процеси.

За фізичними властивостями кукурудза відрізняється від зерна колосових культур більшою крупністю, нерівномірністю розмірів зернівок, значною часткою зародка та підвищеною схильністю до травмування. Натура зерна кукурудзи зазвичай перебуває в межах 680 – 820 г/л, шпаруватість насипу становить орієнтовно 35 – 55 %, кут природного укусу – 30–40°, а маса 1000 зерен може значно коливатися залежно від гібриду та умов вирощування. Ці показники мають важливе значення під час проєктування і експлуатації елеваторного обладнання, вибору режимів очищення, сушіння, транспортування та зберігання.

Однією з найважливіших технологічних особливостей кукурудзи є те, що під час надходження на хлібоприймальні та елеваторні підприємства вона часто має підвищену вологість. Це пов'язано з пізнішими строками збирання, особливостями досягання зернівок у межах одного початку, погодними умовами та технологією збирання. Зернівки, розміщені біля основи і верхівки початку, нерідко мають вищу вологість, ніж зерно в середній частині. Через це партії кукурудзи характеризуються неоднорідністю за вологістю, що ускладнює їх зберігання та потребує обов'язкового контролю якості при прийманні.

Відповідно до ДСТУ 4525:2006, у кожній партії кукурудзи під час приймання визначають стан зерна, запах, колір, типовий склад, вологість, зернову і смітну домішки, зараженість шкідниками, крупність та схожість. Якщо кукурудза надходить у качанах, якість і вихід зерна встановлюють за зерном, отриманим після лабораторного обмолоту відібраної проби качанів.

Згідно з вимогами ДСТУ 4525:2006, кукурудза всіх класів повинна бути у здоровому стані, не зіпрілою, без теплового пошкодження під час сушіння, мати властивий здоровому зерну запах без затхлого, солодового, пліснявого чи іншого стороннього запаху, а також колір, характерний для зерна відповідного типу. Не допускається зараженість шкідниками зерна, за винятком окремих випадків, передбачених стандартом для певних класів, коли допускається зараженість кліщем не вище встановленого ступеня.

Особливу увагу під час заготівлі та зберігання кукурудзи приділяють вмісту домішок. Домішки в зерновій масі поділяють на зернові та смітні. До зернової домішки відносять биті, поїдені, давлені, щуплі, пророслі, недостиглі та частково пошкоджені зерна кукурудзи. До смітної домішки належать мінеральні та органічні домішки, насіння дикорослих рослин, зіпсовані зерна, шкідлива домішка та інші сторонні включення, які погіршують якість партії й можуть бути джерелом самозігрівання, пліснявіння або зараження шкідниками.

Для продовольчих, технічних, кормових і експортних потреб ДСТУ 4525:2006 встановлює граничні норми за вологістю, зерновою та смітною домішками, вмістом пророслих і пошкоджених зерен, мінеральної та шкідливої домішки, крупністю і зараженістю шкідниками. Для всіх класів кукурудзи вологість зерна за стандартом повинна становити не більше 15,0 %. Норма зернової домішки залежить від класу та напряму використання і може становити від 3,0 до 15,0 %, а смітної домішки – від 1,0 до 5,0 %.

Основні вимоги до зерна кукурудзи згідно за ДСТУ 4525:2006 представлені у таблиці 1.3.

Під час формування партій необхідно враховувати, що за ДСТУ 4525:2006 кукурудзу, у якій домішка зернових, зернобобових та олійних культур перевищує 15 % від загальної маси зерна разом із домішками, приймають уже не як чисту кукурудзу, а як суміш кукурудзи з іншими культурами із зазначенням її складу у відсотках. Це має практичне значення під час приймання, лабораторного аналізу, розміщення зерна у сховищах і подальшого відвантаження споживачеві.

Таблиця 1.3 – Основні вимоги до зерна кукурудзи згідно з ДСТУ 4525:2006

Показник	Норма / характеристика
Сфера застосування стандарту	Кукурудза в зерні та качанах для продовольчих, непродовольчих потреб і експортування
Вологість зерна	Не більше 15,0 %
Зернова домішка	Залежно від класу – від 3,0 до 15,0 %
Смітна домішка	Залежно від класу – від 1,0 до 5,0 %
Зіпсовані зерна	Обмежуються залежно від класу
Мінеральна домішка	Переважно не більше 0,3 %, для окремих класів – до 1,0 %
Шкідлива домішка	Не більше 0,2 %, окремі види не допускаються
Зараженість шкідниками	Не допускається або обмежується стандартом для окремих випадків
Стан зерна	Здорове, не зіпріле, без теплового пошкодження
Запах	Властивий здоровому зерну, без сторонніх запахів
Колір	Властивий зерну відповідного типу

Кукурудза як об'єкт зберігання є більш складною порівняно з багатьма колосовими культурами. За однакових умов вона інтенсивніше дихає, що супроводжується виділенням тепла, вуглекислого газу та водяної пари. У разі підвищеної вологості це призводить до втрати сухих речовин, зниження маси зерна, розвитку мікрофлори та самозігрівання. Найбільш уразливим є зародок, оскільки він швидко вбирає вологу і містить поживні речовини, сприятливі для розвитку мікроорганізмів.

Свіжозібране зерно кукурудзи часто містить значну кількість пліснявих грибів, зокрема представників родів *Aspergillus* і *Penicillium*. За несприятливих умов зберігання вони можуть уражати насамперед зародок, знижувати схожість, погіршувати технологічні властивості зерна та створювати ризик накопичення мікотоксинів. Тому вміст токсичних елементів, мікотоксинів, пестицидів і радіонуклідів у зерні кукурудзи підлягає контролю відповідно до вимог безпеки, передбачених стандартом та чинними нормативними документами.

Важливою технологічною властивістю кукурудзи в качанах є висока повітропроникність міжкачанного простору. У суху та теплу погоду це сприяє

природному підсушуванню качанів і полегшує активне вентилявання. Однак за дощової погоди або підвищеної вологості повітря така структура, навпаки, може сприяти швидкому зволоженню зернової маси. Тому кукурудзу з підвищеною вологістю необхідно оперативно очищати, сушити та розміщувати в умовах, що запобігають розвитку самозігрівання.

Під час зберігання кукурудзу поділяють за станом вологості та засміченості. Сухе зерно є більш стійким до тривалого зберігання, тоді як вологе і сире потребує першочергової обробки. Для кукурудзи, що має вологість вище нормативної, обов'язковими є очищення від домішок, сушіння до безпечного рівня та активне вентилявання. Висоту насипу під час зберігання встановлюють з урахуванням вологості, температури, засміченості, технічного стану зерносховища та наявності системи вентилявання.

Очищення обмолоченої кукурудзи здійснюють переважно на повітряно-ситових сепараторах. Метою цієї операції є видалення частинок стрижнів, обгорток, пилу, битого, щуплого, недорозвиненого та іншого неповноцінного зерна. Для середньозерної кукурудзи зазвичай застосовують сита з отворами діаметром 4,5 – 5,0 мм, а для дрібнозерної – 3,5 – 4,0 мм. Легкі домішки та щуплі зерна видаляють у пневмосепарувальних каналах повітряним потоком. Ефективність очищення залежить від вологості зерна, рівномірності подачі, правильно підібраних сит і швидкості повітря.

Отже, зерно кукурудзи характеризується високою харчовою, кормовою та технологічною цінністю, але водночас є складним об'єктом післязбиральної обробки і зберігання. Підвищена вологість під час надходження, великий зародок, нерівномірність вологості зернівок, висока інтенсивність дихання та схильність до розвитку пліснявих грибів зумовлюють необхідність ретельного лабораторного контролю, своєчасного очищення, сушіння й активного вентилявання. Дотримання вимог ДСТУ 4525:2006 є основою для збереження якості кукурудзи, зменшення втрат зерна та забезпечення її придатності для продовольчого, кормового, технічного використання й експорту.

Висновки за розділом

Встановлено, що елеваторна промисловість України залишається важливою складовою зернового комплексу, однак в умовах скорочення обсягів виробництва, зміни логістики та втрати частини потужностей потребує технічного оновлення. Особливо актуальною є модернізація ліній післязбиральної обробки кукурудзи, оскільки ця культура часто надходить на елеватори з підвищеною вологістю та потребує своєчасного очищення, сушіння і вентилявання.

Охарактеризовано зерно кукурудзи як складний об'єкт зберігання. Встановлено, що його якість залежить від вологості, засміченості, стану зародка, інтенсивності дихання та схильності до розвитку мікрофлори. Відповідно до вимог ДСТУ 4525:2006, для забезпечення безпечного зберігання зерно повинно бути здоровим, без стороннього запаху, не зараженим шкідниками та мати вологість не більше 15,0 %. Тому ефективна робота елеваторної лінії має передбачати лабораторний контроль, видалення домішок, сушіння до нормативної вологості та створення умов для запобігання самозігріванню зернової маси.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис діючої технологічної лінії

Технологічний процес підготовки зерна до зберігання розпочинається з його приймання, кількісного обліку та контролю якості. На першому етапі автомобіль із зерном проходить зважування, після чого відбирають середню пробу зернового вороху для лабораторного аналізу. У виробничо-технологічній лабораторії визначають основні показники якості: вологість, засміченість, наявність зернової та смітної домішки, пошкоджених і битих зерен, зараженість шкідниками, запах, колір та загальний стан зернової маси.

За результатами лабораторного контролю приймається рішення щодо подальшого спрямування партії зерна: на очищення, сушіння, тимчасове накопичення, довготривале зберігання або відвантаження. Такий підхід дає змогу раціонально організувати рух зернової маси на елеваторі, запобігти змішуванню партій різної якості та забезпечити збереження технологічних властивостей кукурудзи.

Після завершення операцій приймання і зважування автомобіль 1 направляється до автомобілерозвантажувача 2. За допомогою цього обладнання зерно вивантажується з кузова транспортного засобу та надходить у приймальний бункер 3. Приймальний бункер виконує функцію короткочасного накопичення зернової маси та забезпечує її рівномірну подачу на подальші транспортно-технологічні операції. Із бункера зерно подається приймальним шнековим транспортером 4 у технологічну лінію обробки.

На наступному етапі зернова маса проходить через магнітну колонку 5. Її призначення полягає у вилученні металоманітних домішок, які можуть потрапляти в зерновий ворох під час збирання, транспортування або попереднього зберігання. Видалення таких домішок є важливою умовою безпечної експлуатації обладнання, оскільки металеві частинки можуть пошкоджувати робочі органи транспортерів, норій, сепараторів і зерносушарок.

Після проходження магнітного очищення зерно кукурудзи норією 7 підіймається на верхній поверх робочої башти елеватора. Далі воно надходить до повітряно-решітного сепаратора 8, де здійснюється основне очищення зернової маси. У сепараторі відбувається відокремлення крупних, дрібних і легких домішок за розмірами та аеродинамічними властивостями. До таких домішок належать частинки стебел, листків, обгорток початків, стрижнів, пил, щупле, бите та недорозвинене зерно.

Очищене зерно кукурудзи після сепаратора знову надходить на шнековий транспортер 4 для подальшого переміщення за технологічною схемою. Зернові відходи та домішки, які були виділені під час очищення, скребковим транспортером 9 подаються до норії 7, після чого транспортуються у спеціальні бункери відходів і домішок 10. Наявність окремої системи для відведення відходів дає змогу уникнути повторного засмічення очищеного зерна та забезпечити безперервність роботи технологічної лінії.

Технологічна схема первинної обробки зерна кукурудзи до модернізації наведена на рисунку 1.2.

Після проходження шнекового транспортера 4 подальший рух зерна кукурудзи залежить насамперед від його вологості. За цим показником зернова маса умовно розділяється на два технологічні потоки: сухе зерно та вологе зерно, яке потребує сушіння.

Перший потік становить сухе або доведене до нормативної вологості зерно кукурудзи. Така зернова маса не потребує додаткового сушіння, тому норією 7 подається до розвантажувального транспортера 15. За допомогою перекидного клапана 17 зерно може бути спрямоване у силоси 14 для зберігання або у бункери відвантаження 11. Напрямок руху зерна обирається залежно від виробничої потреби, заповненості силосів, наявності замовлень на відвантаження та якості конкретної партії.

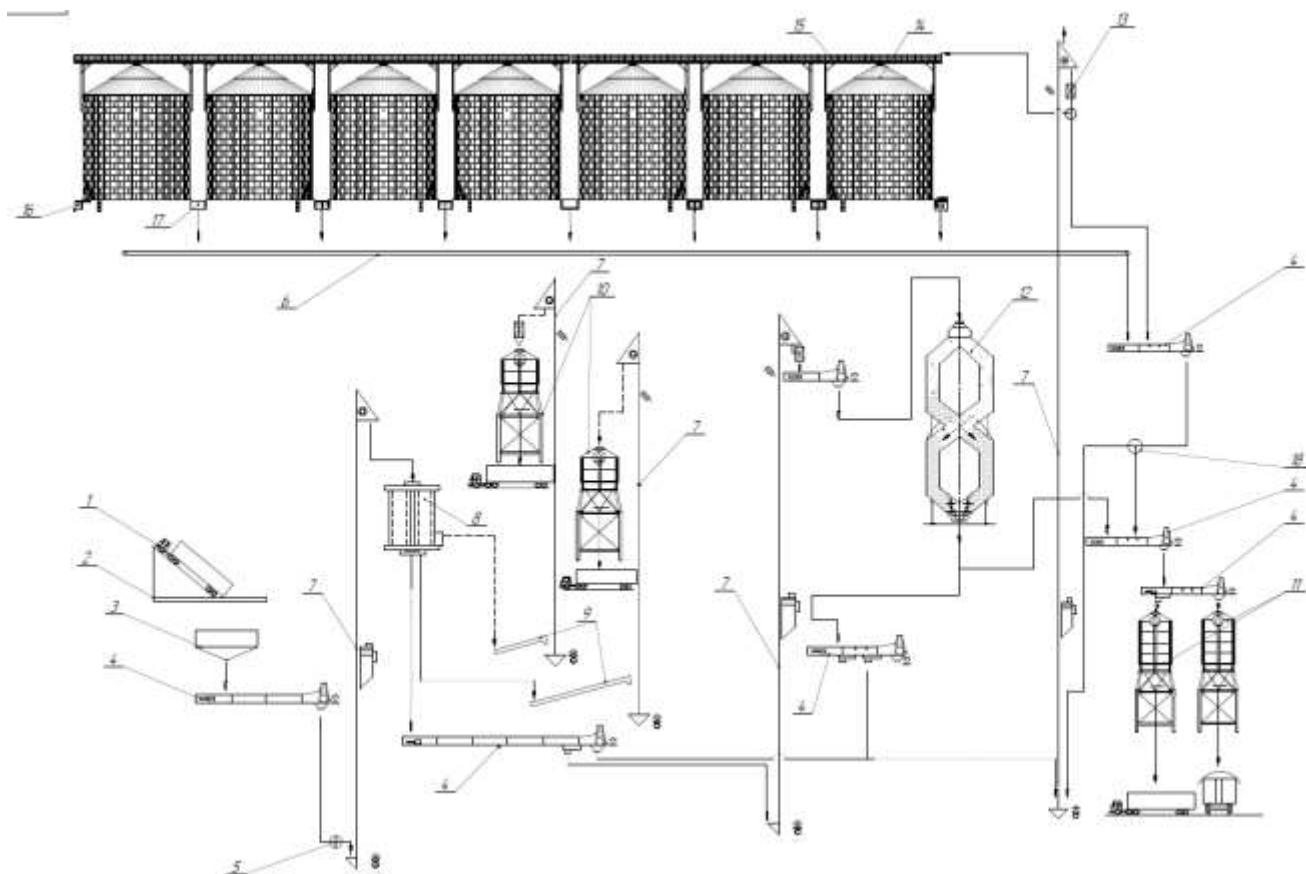


Рисунок 2.1 – Технологічна схема лінії з первинної обробки зерна кукурудзи до модернізації

1 – транспортний засіб для доставки зерна; 2 – установка для розвантаження автомобілів; 3 – бункер приймання зернової маси; 4 – транспортуючий механізм; 5 – пристрій для вилучення металоманітних домішок; 6 – транспортер розвантаження зерна; 7 – ковшовий елеватор; 8 – повітряно-решітна зерноочисна машина; 9 – механізм транспортування відходів; 10 – ємності для накопичення відходів; 11 – бункери для тимчасового накопичення зерна перед відвантаженням; 12 – зерносушильна установка; 13 – запірна засувка; 14 – силос для зберігання зерна; 15 – стрічковий транспортний пристрій; 16 – вивантажувальний шнек; 17 – перекидний розподільчий клапан.

Другий потік становить вологе зерно кукурудзи, яке не може бути направлено на тривале зберігання без попереднього сушіння. Таке зерно норією 7 подається до модульної зерносушарки 12. У сушарці відбувається зниження вологості зерна до рівня, безпечного для подальшого зберігання. Процес сушіння

є особливо важливим для кукурудзи, оскільки вона часто надходить на елеватор із підвищеною вологістю, а її зародок є чутливим до зволоження, самозігрівання та розвитку пліснявих грибів.

Після завершення сушіння зерно кукурудзи може бути направлене у силоси 14 для зберігання або безпосередньо до бункерів 11 для подальшого відвантаження. Рішення щодо подальшого спрямування висушеного зерна приймається з урахуванням виробничого завдання, якості партії, потреби в накопиченні експортних або внутрішніх партій, а також завантаженості обладнання.

Зберігання зерна кукурудзи здійснюється у силосах 14. Силоси забезпечують роздільне розміщення партій зерна за якістю, вологістю, призначенням і часом надходження. Це дозволяє контролювати стан зернової маси, запобігати її змішуванню та створювати умови для збереження якості протягом визначеного періоду. Під час зберігання важливе значення мають контроль температури, вологості, засміченості та стану зерна, оскільки за несприятливих умов можливе самозігрівання, зволоження або розвиток мікрофлори.

Вивантаження зерна із силосів відбувається через нижню частину споруди. З дна силоса зерно за допомогою шнекового вивантажувального транспортера 16 подається на стрічковий транспортер 6. Далі воно надходить до шнекового транспортера 4 і переміщується у напрямку бункерів відвантаження 11. Із бункерів зерно завантажується в автомобільний або залізничний транспорт залежно від логістичної схеми підприємства та потреб споживача.

Таким чином, дана технологічна лінія забезпечує виконання основних операцій із приймання, зважування, лабораторного контролю, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження зерна кукурудзи. Водночас аналіз існуючої схеми свідчить, що ефективність роботи лінії значною мірою залежить від продуктивності транспортного обладнання, пропускної здатності сепаратора, енергоефективності сушарки та можливості оперативного розподілу зернових потоків залежно від вологості й якості сировини. Саме ці чинники доцільно

враховувати під час обґрунтування напрямів модернізації елеваторного комплексу.

2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з первинної обробки зерна кукурудзи

Після проведення аналізу діючої технологічної лінії було встановлено, що її робота має окремі обмеження, які негативно впливають на загальну ефективність приймання та післязбиральної обробки зерна кукурудзи. Основною проблемою є надходження значної кількості зерна з підвищеною вологістю у період масової заготівлі. За таких умов зростає навантаження на сушильне обладнання, виникає потреба у тимчасовому накопиченні вологого зерна, збільшується тривалість його перебування до сушіння, що може призводити до погіршення якості зернової маси.

Кукурудза є культурою, яка під час збирання часто має підвищену і нерівномірну вологість. Особливо це характерно для зерна, що надходить безпосередньо з поля у стислі строки заготівельного періоду. У разі тривалого перебування такого зерна без належного повітрообміну активізуються фізіолого-біохімічні та мікробіологічні процеси: посилюється дихання зерна, підвищується температура насипу, створюються умови для розвитку пліснявих грибів і самозігрівання. У результаті можливі втрати маси сухої речовини, зниження товарної якості зерна та збільшення витрат на його подальшу обробку.

Особливо важливою ця проблема є для елеваторів, які працюють у сезонному режимі з великими обсягами надходження зерна за короткий проміжок часу. Якщо продуктивність сушарки є нижчою за інтенсивність приймання вологого зерна, утворюється технологічне «вузьке місце». У такій ситуації автомобілі затримуються на території підприємства, збільшується час простою транспорту, знижується оперативність приймання, а частина зерна вимушено очікує обробки. Це негативно впливає як на виробничу потужність елеватора, так і на економічні показники його роботи.

З метою усунення виявлених недоліків запропоновано удосконалити технологічну лінію шляхом встановлення додаткового обладнання для активного вентилявання зерна. Таке рішення дасть змогу організувати проміжне накопичення вологого зерна кукурудзи перед його подачею до сушарки та забезпечити контроль стану зернової маси у період очікування основної теплової обробки. Активне вентилявання дозволяє підтримувати більш стабільний температурно-вологісний режим, зменшувати ризик самозігрівання, частково вирівнювати вологість зерна та запобігати погіршенню його якості.

Для реалізації цього технічного рішення після аналізу пропозицій вітчизняних і зарубіжних виробників було обрано бункери активного вентилявання БВ-40. Вибір такого обладнання обґрунтовується його технологічною доцільністю, компактністю, можливістю інтеграції в існуючу схему елеватора та здатністю забезпечувати тимчасове зберігання зерна з подачею повітря через зернову масу. Бункери БВ-40 можуть використовуватися як буферна ланка між приймально-очисним відділенням і зерносушаркою, що особливо важливо у періоди пікового надходження кукурудзи.

Запровадження бункерів активного вентилявання забезпечить більш рівномірне завантаження сушарки, оскільки зерно з підвищеною вологістю не буде одразу накопичуватися перед сушильним обладнанням без належного повітрообміну. Це дозволить зменшити простої технологічної лінії, стабілізувати роботу сушарки, підвищити ритмічність обробки зерна та знизити ризик втрат якості під час очікування сушіння. Крім того, вентилявання сприятиме частковому охолодженню зернової маси, що є важливим чинником для запобігання розвитку мікроорганізмів.

Очікуваний технологічний ефект від запропонованої модернізації полягає у збільшенні обсягу приймання та обробки зерна кукурудзи з підвищеною вологістю. Завдяки встановленню бункерів активного вентилявання елеватор зможе приймати додаткові партії зерна у період інтенсивного надходження, не створюючи критичного перевантаження сушарки. За попередніми розрахунками,

таке удосконалення дасть змогу підвищити продуктивність елеватора приблизно на 5000 т за сезон заготівлі.

Економічна доцільність запропонованого рішення пояснюється тим, що збільшення обсягів приймання зерна сприятиме зростанню доходу підприємства від надання послуг із приймання, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження кукурудзи. Одночасно зменшуються втрати від погіршення якості зерна, простоїв транспорту та нерівномірного завантаження обладнання. Крім того, використання активного вентилявання є менш енергоємним порівняно з повноцінним сушінням, тому воно може виконувати функцію попередньої стабілізації зернової маси перед подальшою тепловою обробкою.

Отже, встановлення бункерів активного вентилявання БВ-40 є обґрунтованим напрямом удосконалення технологічної лінії елеватора. Запропонована модернізація дозволяє підвищити надійність роботи лінії, забезпечити кращий контроль стану вологого зерна кукурудзи, зменшити ризик самозігрівання та втрат якості, а також збільшити сезонну продуктивність підприємства. Таким чином, впровадження цього рішення має позитивне значення як з технологічної, так і з економічної точки зору..

2.3 Характеристика технологічної лінії після модернізації (удосконалення)

Технологічний процес післязбиральної підготовки зерна розпочинається з приймання партії, її кількісного обліку та оцінювання якості. Після прибуття автомобіля здійснюється його зважування на автомобільних вагах, відбір середньої проби зерна та передача її до виробничо-технологічної лабораторії.

У лабораторії визначають основні показники якості зернового вороху: вологість, вміст смітної та зернової домішки, наявність битих, щуплих, пошкоджених і пророслих зерен, зараженість шкідниками, запах, колір і загальний стан зернової маси. Особливу увагу приділяють вологості кукурудзи, оскільки саме цей показник визначає подальший маршрут руху зерна в технологічній лінії: на зберігання, сушіння, активне вентилявання або повторне

очищення. Для тривалого зберігання зерно кукурудзи повинно бути доведене до безпечної вологості, як правило, не вище 14,0 – 15,0 %.

Після проведення лабораторного контролю автомобіль 1 направляється до автомобілерозвантажувача 2. Під час розвантаження зернова маса надходить у приймальний бункер 3, який виконує функцію короткочасного накопичення та забезпечує рівномірну подачу зерна на подальшу обробку. Із приймального бункера зерно переміщується шнековим транспортером 4 у технологічну лінію. На цьому етапі важливо забезпечити рівномірне завантаження транспортного обладнання, оскільки нерівномірна подача зерна може знижувати ефективність очищення та спричиняти перевантаження окремих машин.

Технологічна схема лініз з первинної обробки зерна кукурудзи після модернізації наведена на рисунку 2.2.

Із шнекового транспортера 4 зерно кукурудзи проходить через магнітну колонку 5. На цій стадії із зернової маси вилучаються металоманітні домішки, які можуть потрапляти в зерно під час збирання, транспортування або попереднього зберігання. Видалення таких домішок є необхідною умовою безпечної роботи обладнання, оскільки металеві частинки можуть пошкоджувати робочі органи транспортерів, норій, сепараторів і сушарки.

Після магнітного очищення зерно норією 7 підіймається на верхній поверх робочої башти та надходить до повітряно-решітного сепаратора 8. У сепараторі здійснюється попереднє або основне очищення зернової маси від крупних, дрібних і легких домішок. До таких домішок належать частинки стебел, листків, обгорток качанів, стрижнів, пил, полова, щупле, недорозвинене та бите зерно. Очищення проводять за рахунок поєднання дії повітряного потоку та решітного розділення. Для кукурудзи орієнтовно застосовують сита з круглими отворами діаметром 3,5 – 5,0 мм залежно від крупності зерна, а легкі домішки видаляють у пневмосепарувальному каналі. Швидкість повітряного потоку підбирають так, щоб видалити легкі домішки без винесення повноцінного зерна; орієнтовно вона може становити 7 – 9 м/с.

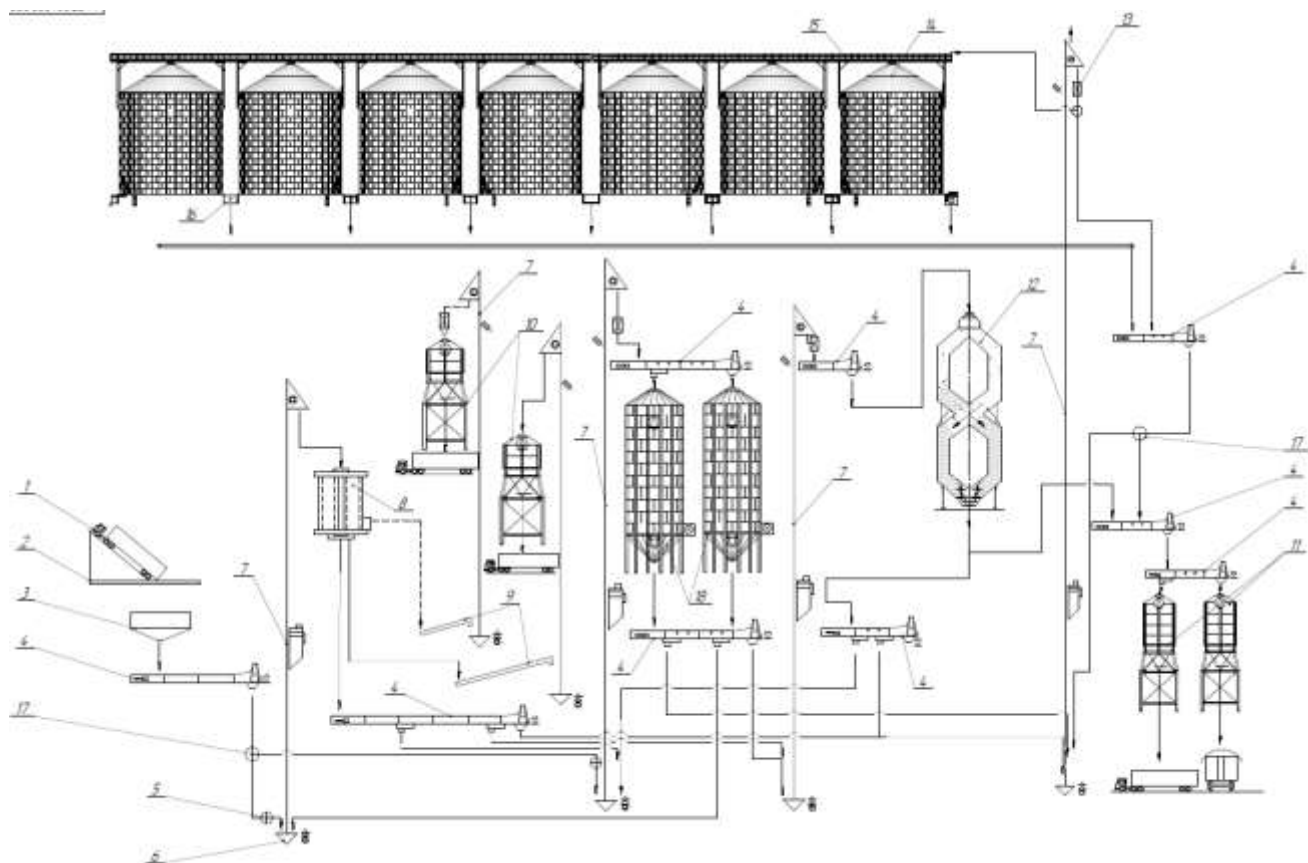


Рисунок 2.2 – Технологічна схема лінії з первинної обробки зерна кукурудзи після модернізації

1 – транспортний засіб для доставки зерна; 2 – установка для розвантаження автомобілів; 3 – бункер приймання зернової маси; 4 – транспортуючий механізм; 5 – пристрій для вилучення металоманітних домішок; 6 – транспортер розвантаження зерна; 7 – ковшовий елеватор; 8 – повітряно-решітна зерноочисна машина; 9 – механізм транспортування відходів; 10 – ємності для накопичення відходів; 11 – бункери для тимчасового накопичення зерна перед відвантаженням; 12 – зерносушильна установка; 13 – запірні засувки; 14 – силос для зберігання зерна; 15 – стрічковий транспортний пристрій; 16 – вивантажувальний шнек; 17 – перекидний розподільчий клапан; 18 – бункер для активного вентилявання зерна кукурудзи.

Після очищення зерно кукурудзи повертається на шнековий транспортер 4 і далі спрямовується відповідно до його вологості та технологічного стану.

Виділені під час очищення зернові відходи і домішки транспортером відходів 9 подаються до норії 7, а потім направляються у бункери відходів 10. Така організація руху відходів забезпечує відокремлення некондиційної частини зернової маси від основного потоку та запобігає повторному забрудненню очищеного зерна.

Після проходження транспортера 4 зерно кукурудзи, залежно від вологості та якості, розподіляється на три основні технологічні потоки.

Перший потік – сухе або кондиційне зерно кукурудзи. До цього потоку належить зерно, вологість якого відповідає вимогам безпечного зберігання, тобто становить орієнтовно до 14,0 – 15,0 %. Таке зерно не потребує додаткового сушіння, тому норією 7 підіймається до розвантажувального транспортера 15. За допомогою перекидного клапана 17 воно може бути спрямоване у силоси 14 для зберігання або до бункерів зерна для відвантаження 11. Перед закладанням у силоси доцільно додатково контролювати температуру зернової маси, вологість і засміченість, оскільки навіть кондиційне зерно за підвищеної температури може втрачати стійкість під час зберігання.

Другий потік – вологе зерно кукурудзи, яке потребує сушіння. До цієї категорії відносять зерно з вологістю вище допустимої для тривалого зберігання, наприклад понад 15,0 – 16,0 %. Таке зерно норією 7 подається до модульної сушарки 12. У сушарці відбувається зниження вологості зерна до нормативного рівня. Для кукурудзи процес сушіння має проводитися з урахуванням її цільового призначення: для насіннєвих партій застосовують нижчі температури сушильного агента, а для фуражного або продовольчого зерна допускаються вищі температурні режими. Орієнтовна температура сушильного агента для товарної кукурудзи може становити 90 – 110 °С, а температура нагрівання зерна не повинна перевищувати 45 – 55 °С, щоб уникнути термічного пошкодження зернівки та погіршення якості.

Сушіння здійснюється до досягнення вологості, безпечної для зберігання, зазвичай 14,0 – 15,0 %. Якщо зерно надходить із вологістю 20 – 25 %, його сушіння може проводитися за один або кілька проходів через сушарку, залежно

від продуктивності обладнання, початкової вологості, температури зовнішнього повітря та необхідного кінцевого показника. Після сушіння зерно обов'язково охолоджують, оскільки закладання теплого зерна в силос може спричинити конденсацію вологи, розвиток мікрофлори та самозігрівання. Після охолодження зерно направляється або у силоси 14, або до бункерів відвантаження 11.

Третій потік – вологе зерно, яке направляється у бункери активного вентиляювання 18. Цей потік є результатом модернізації технологічної схеми та виконує функцію проміжного буферного накопичення перед сушінням або зберіганням. Використання бункерів активного вентиляювання дає змогу зменшити навантаження на сушарку в період масового надходження зерна, стабілізувати стан зернової маси та запобігти її самозігріванню.

У бункерах активного вентиляювання зерно продувається атмосферним або підігрітим повітрям. Основне призначення цієї операції - вирівнювання температури зернової маси, часткове зниження вологості, видалення надлишкової теплоти та запобігання розвитку пліснявих грибів. Тривалість перебування зерна кукурудзи в бункерах активного вентиляювання залежить від його початкової вологості, температури зерна, температури і відносної вологості зовнішнього повітря, висоти шару та інтенсивності подачі повітря. Орієнтовно зерно з вологістю 16 – 18 % може перебувати в бункері 12 – 24 години за умови постійного або періодичного вентиляювання. За вологості 18 – 20 % тривалість безпечного перебування бажано обмежувати 8 – 12 годинами, а зерно з вологістю понад 20 % необхідно направляти на сушіння у найкоротший термін, допускаючи лише короткочасне буферне накопичення з інтенсивним вентиляюванням.

Після завершення циклу вентиляювання зерно повторно контролюють за вологістю, температурою та засміченістю. Якщо після вентиляювання вологість зерна знизилася до кондиційного рівня, його можна направляти у силоси 14 для зберігання або до бункерів відвантаження 11. Якщо ж зерно має підвищену засміченість, воно може бути повторно подане до повітряно-решітного сепаратора 8 для додаткового очищення. Повторна очистка є доцільною у випадку, коли після

вентилювання або переміщення зернової маси відокремлюються дрібні, легкі та биті частинки, які можуть погіршувати умови зберігання.

Якщо після перебування в бункерах активного вентиляювання вологість зерна залишається вищою за допустиму для зберігання, зерно норією 7 подається до модульної сушарки 12. Після сушіння та охолодження воно знову спрямовується на контроль якості, а потім – у силоси 14 або до бункерів відвантаження 11. Таким чином, бункери активного вентиляювання виконують роль технологічного резерву, який дозволяє уникнути затримок у прийманні зерна та забезпечити більш рівномірне завантаження сушильного обладнання.

Зберігання підготовленого зерна кукурудзи здійснюється у силосах 14. Розміщення зерна проводять із урахуванням його вологості, температури, засміченості та цільового призначення. У силоси доцільно направляти тільки очищене, охолоджене та доведене до нормативної вологості зерно. Під час зберігання необхідно здійснювати періодичний контроль температури зернової маси. Підвищення температури в окремих ділянках насипу може свідчити про початок самозігрівання, тому в такому випадку застосовують активне вентиляювання, переміщення зерна або його повторне очищення.

Розвантаження зерна із силосів здійснюється через нижню частину споруди. Із дна силоса зерно шнековим вивантажувальним транспортером 16 подається на розвантажувальний транспортер 6, після чого через систему шнекових і стрічкових транспортерів 4 та 15 спрямовується до бункерів зерна для відвантаження 11. Із цих бункерів зерно завантажують в автомобільний або залізничний транспорт залежно від логістичної схеми підприємства та вимог споживача.

Таким чином, модернізована технологічна схема лінії підготовки зерна кукурудзи до зберігання передбачає не лише традиційні операції приймання, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження, а й додатковий етап активного вентиляювання. Введення бункерів активного вентиляювання 18 дозволяє підвищити технологічну гнучкість елеватора, зменшити ризик погіршення якості вологого зерна, скоротити простої транспорту в період масового надходження

кукурудзи та забезпечити більш стабільну роботу сушильного відділення. У результаті підвищується загальна продуктивність лінії, покращуються умови зберігання зерна та знижуються втрати його якості під час післязбиральної обробки.

Висновки за розділом

Проаналізовано діючу технологічну лінію підготовки зерна кукурудзи до зберігання, яка включає приймання, зважування, лабораторний контроль, магнітне очищення, сепарування, сушіння, транспортування, зберігання у силосах та відвантаження зерна. Встановлено, що основним недоліком існуючої схеми є недостатня гнучкість під час надходження значних обсягів вологого зерна, що створює додаткове навантаження на сушарку та може призводити до простоїв і погіршення якості зернової маси.

Для усунення виявлених недоліків запропоновано модернізувати лінію шляхом встановлення бункерів активного вентилявання БВ-40. Їх використання дає змогу організувати проміжне накопичення вологого зерна, стабілізувати його температурно-вологісний стан, зменшити ризик самозігрівання та забезпечити більш рівномірне завантаження сушильного обладнання. Очікується, що впровадження такого рішення підвищить сезонну продуктивність елеватора приблизно на 5000 т і покращить умови зберігання кукурудзи.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок та визначення кількості технологічного обладнання

Упродовж розрахункового періоду заготівлі необхідно передбачити приймання основної частини запланованого обсягу кукурудзи, а саме близько 80 % від річної кількості зерна, що надходить на підприємство.

Передбачається, що впровадження бункерів активного вентилявання дасть змогу збільшити обсяги приймання зерна кукурудзи на 6000 т за рік, унаслідок чого загальний річний обсяг заготівлі становитиме 35000 т.

Розрахунок необхідної продуктивності та кількості обладнання для приймання зерна, яке доставляється автомобільним транспортом, виконують з урахуванням нерівномірності його надходження на елеватор протягом доби та окремих годин роботи підприємства.

Коефіцієнт добової нерівномірності приймання зерна приймають залежно від загального обсягу заготівлі та тривалості розрахункового періоду надходження кукурудзи. Він дає змогу врахувати можливе збільшення добового навантаження на приймальне обладнання в період найбільш інтенсивного надходження зерна.

Коефіцієнт годинної нерівномірності визначають з урахуванням максимального добового надходження зерна кукурудзи. Цей показник необхідний для розрахунку пропускної здатності автомобілерозвантажувачів, приймальних бункерів, транспортерів, норій та іншого обладнання приймального відділення.

Максимальне добове надходження зерна кукурудзи визначають за формулою:

$$A_{но}^a = \frac{0,8 \cdot A \cdot K_o}{\Pi_p}, \quad (3.1)$$

де A – загальна кількість зерна кукурудзи, що надходить від сільськогосподарських виробників протягом усього періоду заготівлі, т;

K_{∂} – коефіцієнт добової нерівномірності надходження зерна;

P_p – значення тривалості розрахункового періоду заготівлі, діб.

$$A_{\partial}^a = \frac{0,8 \cdot 35000 \cdot 1,6}{30} = 1536 \text{ т/добу}$$

Годинне надходження зерна кукурудзи визначають за формулою:

$$A_{\text{нг}}^a = \frac{A \cdot K_{\varepsilon}}{T}, \quad (3.2)$$

де K_{ε} – коефіцієнт годинної нерівномірності надходження зерна кукурудзи;

T – розрахункова тривалість роботи технологічного обладнання протягом доби, год.

$$A_{\text{нг}}^a = \frac{1536 \cdot 1,2}{8} = 230,4 \text{ т/год}$$

Під час відвантаження зерна автомобільним транспортом визначають розрахунковий місячний, добовий і годинний обсяги відпуску:

Розрахунковий місячний відпуск зерна становить:

$$A_{\text{в.м.}}^a = \frac{A_{\text{в.п.}}^a}{N} \cdot K_{\text{в.м.}}^a \quad (3.3)$$

Розрахунковий добовий відпуск визначають за формулою:

$$A_{\text{в.д.}}^a = \frac{A_{\text{в.м.}}^a}{T_{\text{м}}^a} \cdot K_{\text{в.д.}}^a \quad (3.4)$$

Розрахунковий годинний відпуск зерна розраховують за формулою:

$$A_{\text{в.г.}}^a = \frac{A_{\text{в.д.}}^a}{T_{\text{в.д.}}^a} \cdot K_{\text{в.г.}}^a \quad (3.5)$$

де N – кількість місяців, протягом яких здійснюється відпуск зерна;

$T_{\text{м.}}^a, T_{\text{в.д.}}^a$ – відповідно тривалість відпуску протягом місяця та доби;

$K_{\text{в.м.}}^a, K_{\text{в.д.}}^a, K_{\text{в.г.}}^a$ – коефіцієнти місячної, добової та годинної нерівномірності відвантаження зерна автомобільним транспортом.

$$A_{\text{вм}}^a = \frac{35000}{6} \cdot 1,2 = 7200 \text{ т/міс.}$$

$$A_{\text{вд}}^a = \frac{7200}{30} \cdot 1,2 = 288 \text{ т/добу}$$

$$A_{\text{вг}}^a = \frac{288}{8} \cdot 1,2 = 43,2 \text{ т/год.}$$

Для забезпечення відвантаження зерна на автомобільний транспорт у технологічній схемі передбачено використання бункера місткістю 20 т.

З урахуванням характеру виконуваних операцій та обсягів роботи із зерном кукурудзи у складі підприємства передбачено приймальну лабораторію. Вона необхідна для проведення оперативного контролю якості зерна під час приймання, зберігання, сушіння та відвантаження.

Відповідно до довідкових даних, залежно від обсягу заготівлі зерна, дане підприємство належить до V групи. Для механізованого відбору проб зерна приймаємо автоматичний пробовідбірник А1-УП-2А.

Усе зерно, яке надходить на підприємство, повинно проходити попереднє очищення від грубих і легких домішок безпосередньо в потоці приймання. Надалі

проводиться основне очищення, метою якого є вилучення домішок, що можуть бути відокремлені на зерноочисному обладнанні, та доведення зерна до кондицій, які відповідають його подальшому цільовому призначенню.

Продуктивність сепараторів для основного очищення зерна визначають за формулою:

$$Q_c = \frac{0,04}{\Pi_p} \left(\frac{A_1}{K_1} + \frac{A_2}{K_2} + \dots \frac{A_n}{K_n} \right), \quad (3.6)$$

де A_1, A_2, A_n – маса зерна різних культур, що надходять на підприємство протягом усього періоду заготівлі, т;

K_1, K_2, K_n – коефіцієнти, які враховують вид культури, її вологість і вміст домішок, що підлягають видаленню.

$$Q_c = \frac{0,04}{30} \cdot \frac{35000}{0,9} = 53,3 \text{ т/год.}$$

Кількість сепараторів для основного очищення зерна визначають за формулою:

$$N_c = \frac{\sum Q_c}{Q_{cn}}, \quad (3.7)$$

де Q_{cn} – паспортна продуктивність одного сепаратора т/год.

$$N_c = \frac{53,3}{100} = 0,53$$

Для даної технологічної схеми передбачено встановлення одного сепаратора А1-БЦС-100.

Загальний обсяг сушіння зерна по підприємству визначають за формулою:

$$A_c = 0,8 \cdot A \cdot K_\theta \cdot K_{нсер} \cdot K_{ксер}, \quad (3.8)$$

де K_θ – коефіцієнт переведення фізичних тонн у планові тонни сушіння.

$K_{нсер}$ – коефіцієнт, що враховує призначення партії зерна або насіння;

$K_{ксер}$ – середньозважений коефіцієнт, який враховує зміну продуктивності зерносушарок залежно від культури.

$$A_c = 0,8 \cdot 35000 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 2,0 = 74880 \text{ пл.т.}$$

Розрахункову кількість зерна, яку може просушити зерносушарка за період заготівлі, визначають за формулою:

$$A_c^{3/c} = 40,5 \cdot Q_{3/c} \cdot K_{нпер} \cdot P_p \cdot K_\partial, \quad (3.9)$$

де $Q_{3/c}$ – паспортна продуктивність сушарки зерна, пл. т/год;

$K_{нпер}$ – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності зерносушарки залежно від кількості партій зерна або насіння, які надходять на сушіння;

K_∂ – коефіцієнт, що враховує зниження продуктивності зерносушарки під час роботи з елеваторами, $K_\partial = 0,8$.

$$A_c^{3/c} = 40,5 \cdot 60 \cdot 0,85 \cdot 30 \cdot 0,8 = 49582 \text{ пл.т.}$$

Отже, за період заготівлі наявна зерносушарка може просушити 49582 пл. т зерна кукурудзи. За потреби в сушінні 74880 пл. т частина зерна, яка не може бути оброблена сушаркою в межах розрахункового періоду, становитиме $74880 - 49582 = 25298$ пл.тон.

Цей обсяг доцільно направити на проміжну обробку в бункери активного вентилявання. Таке рішення дозволяє зменшити навантаження на сушарку, забезпечити тимчасове зберігання вологого зерна та запобігти погіршенню його якості до моменту подальшої обробки.

Необхідну кількість основних норій визначають з урахуванням забезпечення всіх технологічних операцій із зерном, які можуть виконуватися одночасно.

Кількість норій для операцій, що збігаються за часом, розраховують окремо для основних напрямів руху зерна.

Для приймання зерна з автомобільного транспорту:

$$n_n^{a.n.} = \frac{A_{н.з.}^a}{Q \cdot K_{\epsilon} \cdot K_n}; \quad (3.10)$$

$$n_n^{a.n.} = \frac{230,4}{200 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 1,5$$

Для відвантаження зерна в автомобільний транспорт:

$$n_n^{a.в.} = \frac{A_{в.з.}^a}{Q \cdot K_{\epsilon} \cdot K_n}; \quad (3.11)$$

$$n_n^{a.н.} = \frac{43,2}{100 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 0,5$$

Для очищення зерна кількість норій визначають за залежністю:

$$n_n^{оч.} = \frac{A_{оч.д.}}{24 \cdot Q \cdot K_{\epsilon}}, \quad (3.12)$$

де $A_{оч.д.}$ – добовий обсяг зерна, що надходить на очищення, т/добу:

$$A_{оч.д.} = \frac{0,8 \cdot A_{н.р.}^a}{\Pi_p}; \quad (3.13)$$

$$A_{оч.д.} = \frac{0,8 \cdot 35000}{30} = 960 \text{ т/добу}$$

Відповідно:

$$n_n^{оч} = \frac{960}{24 \cdot 100 \cdot 0,7} = 0,6$$

Загальна кількість норій становить:

$$\sum N = 1,5 + 0,5 + 0,6 = 2,6.$$

Отже, за результатами технологічних розрахунків до встановлення приймаємо три норії Н-100.

Кількість стрічкових транспортерів приймають з урахуванням зручності взаємозв'язку робочої будівлі зі складами, приймально-відпускними пристроями, силосами, сушаркою та іншими технологічними дільницями підприємства. Правильний вибір кількості та розміщення транспортерів забезпечує безперервність руху зерна, зменшує простой обладнання і підвищує ефективність роботи всієї технологічної лінії.

3.2 Характеристика обладнання удосконаленої технологічної лінії

Сепаратор віброцентробіжний зерноочисний А1-БЦС-100 (рисунок 3.1) призначений для очищення зернової маси від домішок, які відрізняються від основного зерна за розмірами та аеродинамічними властивостями. Конструктивно машина складається з двох секцій, кожна з яких включає два уніфіковані

повітряно-решітні зерноочисні блоки, змонтовані на спільній рамі. У верхній частині блоки попарно з'єднані відстійниками, а вихідні лотки об'єднані збірниками окремих фракцій. Кожен блок має важелі для регулювання подачі зернової маси та налаштування режиму пневматичного очищення. Окремі частини сепаратора з'єднуються між собою за допомогою гвинтових кріплень.

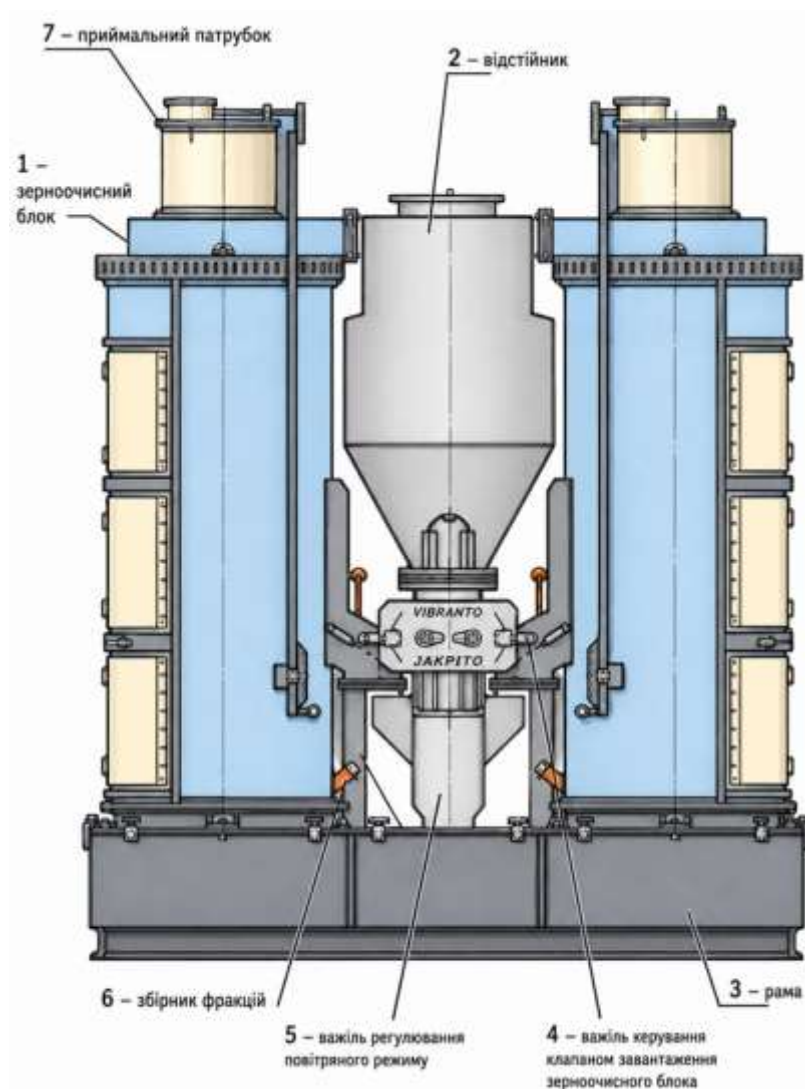


Рисунок 3.1 – Сепаратор А1-БЦС-100

До комплекту сепаратора входить нормалізатор, який встановлюють у технологічній лінії перед зерноочисною машиною. Його основне призначення – затримання випадкових крупних домішок, які можуть потрапити в зерновий потік і порушити роботу сепаратора. Нормалізатор має циліндричний корпус, усередині якого розміщено решітчастий циліндр із відкидним решітчастим днищем. Для

періодичного очищення від грубих домішок у корпусі передбачено люк. Подача зерна може здійснюватися з різних напрямків через три вхідні патрубки.

Принцип роботи сепаратора полягає в послідовному видаленні з вихідного зернового матеріалу грубих, легких, дрібних і крупних домішок. Спочатку зерно надходить у нормалізатор, де решітчастий циліндр затримує випадкові великі включення, а основна зернова маса спрямовується на подальше очищення в сепаратор. Накопичені великі домішки видаляють періодично через 8 – 20 годин роботи. Для цього припиняють подачу зерна, відкривають люк корпусу, виймають решітчастий циліндр, відкривають днище і очищають його від домішок. Після цього нормалізатор встановлюють у робоче положення у зворотній послідовності.

Зерноочисні блоки сепаратора працюють паралельно, що забезпечує високу продуктивність обладнання. Вихідний матеріал через дозатор надходить на обертовий розкидач, який рівномірно подає його в кільцевий пневмосепарувальний канал. У цьому каналі повітряний потік відокремлює пил і легкі домішки. Важчі частинки осідають у відстійнику та через вакуум-клапан надходять у збірник, а пилоподібні домішки повітропроводом транспортуються до циклона, де відокремлюються від повітряного потоку.

Після пневматичного очищення зернова маса спрямовується на решітну частину сепаратора. За допомогою розкидача вона рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні верхнього решета. Решета здійснюють обертальний рух навколо вертикальної осі та коливальний рух уздовж неї. Під дією відцентрових сил зерновий матеріал притискається до внутрішньої поверхні решіт, а під дією сили тяжіння та коливань переміщується зверху вниз.

На верхньому решеті відділяються дрібні домішки, які проходять крізь отвори та лопатками направляються у відповідний лоток і збірник. Далі зернова маса потрапляє на середнє решето, де виділяються подрібнені зерна. Повноцінне очищене зерно проходить крізь отвори нижнього решета та вивантажується у лоток, а крупні домішки сходять із поверхні решета і також відводяться окремо.

Очищення отворів решіт здійснюється циліндричними очисниками, які шарнірно закріплені на кожусі. Для верхнього і середнього решіт використовують

комбіновані очисники з дисковими та щетинними щітками, а нижнє решето очищується очисником із дисковою щіткою. Це забезпечує стабільну роботу сепаратора та запобігає забиванню решітних поверхонь.

У процесі роботи сепаратор розділяє вихідну зернову масу на п'ять фракцій: пил, легкі та дрібні домішки, подрібнене зерно, очищене зерно і крупні домішки. За потреби фракції, що виділяються верхнім і середнім решетами, можуть бути об'єднані шляхом встановлення відповідного клапана у вертикальне положення.

Бункер активного вентилявання БВ-40 (рисунок 3.2) застосовується для вентилявання зерна та насіння зернових культур. Це стаціонарна установка циліндричної форми з конусоподібним днищем, яка забезпечує продування зернової маси повітрям для стабілізації її температурно-вологісного стану.

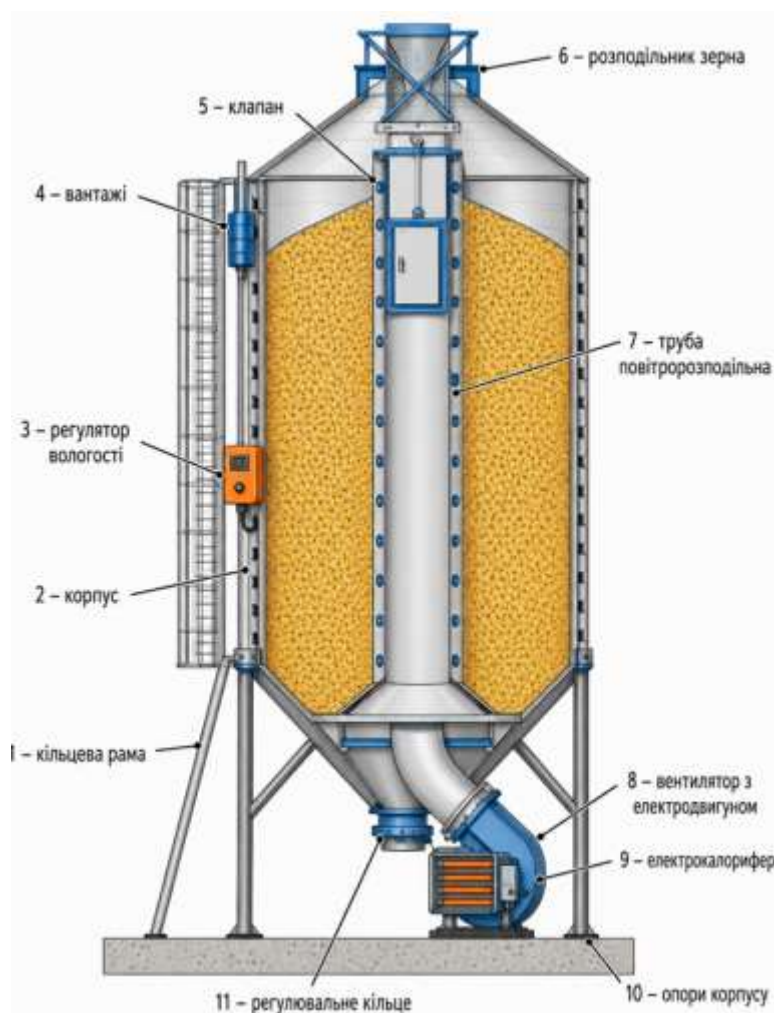


Рисунок 3.2 – Бункер активного вентилявання БВ-40

Корпус бункера виготовлено зі штампованої перфорованої сталі. У центральній частині встановлено циліндричний повітророзподільник діаметром 750 мм. Усередині нього розміщено поршень, який переміщується вертикально за допомогою лебідки, тросів і блоків залежно від рівня завантаження бункера зерном. При повному завантаженні поршень перебуває у верхньому положенні.

Рівень зерна в бункері контролюється за допомогою важеля та прапорця. За необхідності повітря, що подається в бункер, може підігріватися електрокалорифером, встановленим біля отвору вентилятора. Бункер також обладнано пробовідбірниками, датчиком контролю рівня зерна та регуляторами вологості. Один із регуляторів вимикає вентилятор після досягнення заданої вологості зерна, а інші забезпечують керування роботою електрокалорифера.

Зерносушарка Sukur TE-2012E (рисунок 3.3) призначена для зниження вологості зерна до показників, безпечних для подальшого зберігання. Особливістю сушарок компанії Sukur є використання хрестоподібної схеми руху зерна, яка дає змогу зменшити нерівномірність сушіння та запобігти перегріванню окремих шарів зернової маси.

У процесі роботи зерно переміщується з однієї сторони сушарки на протилежну під час переходу з верхнього модуля в нижній. Завдяки цьому зменшується вплив зовнішніх погодних факторів, зокрема холодного вітру, який може нерівномірно охолоджувати одну зі сторін сушарки. Крім того, внутрішній гарячіший шар зерна у верхньому модулі переходить у зовнішній шар нижнього модуля, що сприяє вирівнюванню вологості та температури зерна.

Хрестоподібна схема руху забезпечує більш рівномірне сушіння порівняно з традиційною колонною схемою, знижує ризик перегрівання зерна та сприяє отриманню стабільнішої якості готової продукції.

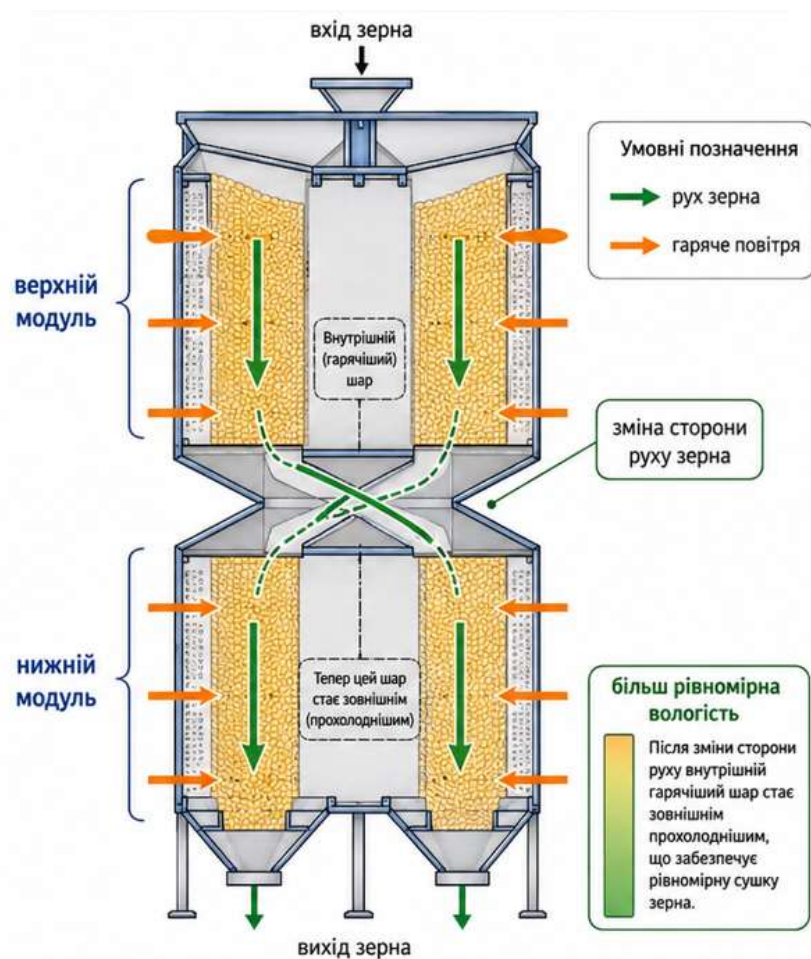


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд зерносушарки Sukur TE-2012E

Технічна характеристика основного обладнання наведена в таблиці 3.1.

3.3 Особливості компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні цеху

Компонування обладнання робочої башти елеватора виконують з урахуванням послідовності технологічного процесу підготовки зерна кукурудзи до зберігання: приймання зерна, магнітне очищення, вертикальне транспортування норіями, очищення на повітряно-решітному сепараторі, відведення відходів, направлення зерна на сушіння, активне вентилювання, зберігання або відвантаження.

Таблиця 3.1 – Специфікація технологічного обладнання

№	Вид обладнання	Марка обладнання	Основні технічні показники	Кількість, шт.
1	Зерноочисний повітряно-ситовий сепаратор	А1-БЦС-100	Забезпечує очищення зернової маси від крупних, дрібних і легких домішок. Продуктивність – до 100 т/год, ефективність очищення – близько 60 %, встановлена потужність – 9,0 кВт	1
2	Бункер для активного вентилявання зерна	БВ-40	Призначений для тимчасового накопичення та вентилявання зерна перед подальшою обробкою. Місткість – 40 т, потужність обладнання – 66,5 кВт	2
3	Зерносушильна установка	Sukup TE-2012E	Використовується для зниження вологості зерна кукурудзи до рівня, безпечного для зберігання. Продуктивність – до 60 т/год	1
4	Стрічковий транспортер	ТСЦ-100	Застосовується для горизонтального переміщення зерна між технологічними ділянками. Продуктивність – 100 т/год, потужність приводу – 3,0 кВт, найбільша довжина – до 75 м	5
5	Ковшовий елеватор	НЦ-100	Призначений для вертикального транспортування зернової маси. Продуктивність – 100 т/год, швидкість руху стрічки – 1,5 м/с, висота підйому – до 60 м	1
6	Автомобільний розвантажувач	У15-УРАГ	Забезпечує механізоване розвантаження зерна з автомобільного транспорту. Вантажопідйомність – 55 т, потужність приводу – 22 кВт	1

У попередніх розділах встановлено, що основними операціями лінії є приймання, лабораторний контроль, очищення, сушіння, зберігання та відвантаження зерна, а після модернізації додатково передбачено бункери активного вентилявання для стабілізації стану вологого зерна.

Робочу башту доцільно компонувати за вертикальною схемою, оскільки така побудова забезпечує використання самопливного руху зерна між окремими технологічними операціями. Це зменшує кількість горизонтальних транспортних механізмів, скорочує довжину транспортних трас, знижує енерговитрати та зменшує травмування зерна кукурудзи під час переміщення. Найбільш раціональним є розміщення зерноочисного сепаратора на середньому поверсі башти, оскільки зерно після підйому норією може надходити до сепаратора самопливом, а очищене зерно і відходи після розділення також можуть бути направлені вниз або вбік за допомогою самопливних труб та транспортерів.

На поверсі, де встановлюється зерноочисний сепаратор А1-БЦС-100, необхідно передбачити місце для самого сепаратора, приймальних і випускних патрубків, самопливних труб, аспіраційних повітроводів, обслуговуючих проходів, а також майданчиків для контролю і ремонту. Сепаратор слід розміщувати ближче до центральної частини поверху, біля зони підйому зерна норією. Таке рішення скорочує шлях подачі зерна до машини, спрощує приєднання самопливів і забезпечує зручне відведення очищеного зерна, дрібних домішок та відходів.

Під час компонування поверху необхідно забезпечити вільний доступ до основних вузлів сепаратора: приймального патрубка, решітного корпусу, приводів, аспіраційних каналів, лотків відведення фракцій і місць очищення решіт. Основні проходи для обслуговування приймаємо шириною не менше 1,0 – 1,2 м, а допоміжні проходи біля окремих вузлів – не менше 0,8 м. Це забезпечує можливість безпечного огляду обладнання, заміни решіт, очищення внутрішніх поверхонь, ремонту приводів і контролю якості роботи сепаратора.

З урахуванням технологічної схеми лінії підготовки зерна кукурудзи до зберігання робочу башту доцільно прийняти п'ятиповерховою (таблиця 3.2). Така

кількість поверхів забезпечує послідовне розміщення обладнання за ходом технологічного процесу та створює умови для самопливного переміщення зерна і відходів.

Таблиця 3.2 – Характеристика виробничої будівлі елеватора

Поверх	Основне призначення	Обладнання та технологічні елементи
1	Нижній транспортний рівень	Башмаки норій, нижні транспортери, магнітна колонка, вузли приймання і подачі зерна
2	Проміжний транспортний рівень	Самопливні труби, проміжні транспортери, вузли перерозподілу зернових потоків
3	Поверх очищення зерна	Повітряно-решітний сепаратор А1-БЦС-100, аспіраційні канали, лотки відведення фракцій
4	Розподільчий рівень	Засувки, перекидні клапани, самопливи на сушарку, бункери активного вентилявання або силоси
5	Верхній транспортний рівень	Головки норій, стрічковий транспортер, направлення зерна до силосів, сушарки або бункерів відвантаження

Висоту одного поверху приймаємо з урахуванням габаритів обладнання, висоти самопливних труб, можливості монтажу і ремонту машин. Для поверху із сепаратором доцільно прийняти висоту не менше 4,5 м, оскільки зерноочисна машина потребує простору для підведення зерна зверху, відведення фракцій знизу і влаштування аспіраційних повітроводів.

Розрахункова висота робочої башти:

$$H = n \cdot h + h_{\text{покp}} , \quad (3.14)$$

де n – кількість поверхів, шт.;

h – висота одного поверху, м;

$h_{\text{покp}}$ – висота покриття, монтажного простору та конструктивного запасу, м.

Приймаємо:

$$n = 5 \text{ поверхів, } h = 4,5 \text{ м, } h_{\text{покp}} = 1,5 \text{ м.}$$

Тоді:

$$H = 5 \cdot 4,5 + 1,5 = 24,0 \text{ м}$$

Отже, загальну висоту робочої башти приймаємо 24,0 м. Така висота забезпечує розміщення зерноочисного, транспортного і розподільчого обладнання, а також створює необхідний перепад висот для самопливного руху зерна між технологічними рівнями.

Оскільки умови модернізації передбачала встановлення бункерів активного вентилявання, а вони знаходяться за межами робочої башти елеватора то розрахунок площі проводити не будемо, площа поверху робочої башти, на якому розміщується зерноочисний сепаратор, складає 42,0 м². Така площа забезпечує розміщення сепаратора А1-БЦС-100, підведення і відведення зернових потоків, монтаж аспіраційних повітроводів, а також безпечне технічне обслуговування обладнання.

Прийняте компонування робочої башти забезпечує раціональний рух зерна кукурудзи за вертикальною схемою, скорочує довжину транспортних комунікацій і дає змогу ефективно розмістити зерноочисний сепаратор на середньому технологічному рівні. Робочу башту доцільно прийняти п'ятиповерховою із загальною висотою 24,0 м. Площа поверху із сепаратором становить 42,0 м².

Висновки за розділом

Виконано технологічні розрахунки лінії первинної обробки зерна кукурудзи з урахуванням збільшення річного обсягу заготівлі до 35000 т. Обґрунтовано необхідну кількість основного обладнання: сепаратора А1-БЦС-100, бункерів

активного вентилявання БВ-40, зерносушарки Sukup TE-2012E, транспортерів, норій та автомобілерозвантажувача. Встановлено, що частину зерна, яку сушарка не встигає обробити за період заготівлі, доцільно направляти у бункери активного вентилявання, що знижує навантаження на сушильне обладнання та запобігає погіршенню якості вологого зерна.

Охарактеризовано основне обладнання удосконаленої технологічної лінії та обґрунтовано компонування робочої башти елеватора. Прийнято п'ятиповерхову башту загальною висотою 24,0 м, що забезпечує раціональне вертикальне переміщення зерна самопливом і зручне розміщення сепаратора на середньому технологічному рівні. Площа поверху із зерноочисним сепаратором становить 42,0 м², що є достатнім для розміщення обладнання, аспіраційних каналів, самопливів і проходів для безпечного обслуговування.

4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

Впровадження елементів системи НАССР на елеваторі де відбувається первинна обробка зерна кукурудзи спрямоване на попередження виникнення небезпечних чинників під час приймання, очищення, сушіння, вентилявання, зберігання та відвантаження зерна. Особливу увагу необхідно приділяти контролю вологості, засміченості, зараженості шкідниками, наявності металоманітних домішок, ознак пліснявіння та самозігрівання зернової маси.

Основними небезпечними чинниками під час роботи елеватора є біологічні, хімічні та фізичні. До біологічних належать плісняві гриби, мікроорганізми та шкідники хлібних запасів. Хімічні небезпеки можуть бути пов'язані з наявністю мікотоксинів, залишків пестицидів, мастильних матеріалів або токсичних елементів. Фізичні небезпеки представлені камінням, металевими частинками, склом, пластиком, пилом, частинами стебел, стрижнів і обгортка качанів.

Технологічний процес контролюється за такими основними етапами: приймання зерна, лабораторний аналіз, розвантаження, магнітне очищення, сепарування, сушіння, активне вентилявання, зберігання в силосах і відвантаження. На кожному з цих етапів необхідно передбачити відповідні заходи контролю, таблиця 4.1.

У модернізованій лінії важливе значення мають бункери активного вентилявання БВ-40. Вони дозволяють тимчасово накопичувати вологе зерно, стабілізувати його температурно-вологісний стан і зменшити ризик самозігрівання до подальшого сушіння або зберігання. Це підвищує ефективність контролю небезпечних чинників і сприяє збереженню якості кукурудзи.

Для забезпечення роботи елементів НАССР на елеваторі необхідно вести документацію: журнал вхідного контролю зерна, журнал роботи сепаратора, журнал очищення магнітної колонки, журнал сушіння, журнал активного вентилявання, журнал температурного контролю силосів і журнал відвантаження.

Таблиця 4.1 – Контроль небезпечних чинників у технологічній лінії

Етап процесу	Можливі небезпеки	Заходи контролю
Приймання зерна	Підвищена вологість, пліснява, шкідники, сторонні домішки	Відбір проб, лабораторний аналіз, перевірка документів
Магнітне очищення	Металомагнітні домішки	Контроль справності та очищення магнітної колонки
Сепарування	Смітна, зернова та легка домішка	Підбір сит, регулювання повітряного режиму, контроль якості очищення
Сушіння	Перегрів, недосушування, розвиток мікрофлори	Контроль температури сушильного агента, вологості зерна до і після сушіння
Активне вентилування	Самозігрівання, пліснявіння	Контроль температури, вологості та тривалості перебування зерна в бункерах
Зберігання	Самозігрівання, конденсат, зараження шкідниками	Температурний моніторинг, вентиляція, роздільне зберігання партій
Відвантаження	Повторне забруднення, змішування партій	Перевірка транспорту, контроль якості партії перед відвантаженням

Отже, впровадження елементів системи НАССР на елеваторі дає змогу своєчасно виявляти та попереджувати небезпечні чинники, що можуть погіршити якість і безпечність зерна кукурудзи. Найважливішими контрольними операціями є лабораторний аналіз, очищення, сушіння, активне вентилування та моніторинг стану зерна під час зберігання.

Висновки за розділом

У розділі визначено основні небезпечні чинники, які можуть виникати під час первинної обробки зерна кукурудзи на елеваторі: біологічні, хімічні та фізичні. Встановлено, що найбільш важливими етапами контролю є приймання

зерна, лабораторний аналіз, магнітне очищення, сепарування, сушіння, активне вентилявання, зберігання та відвантаження.

Запропоновані заходи контролю дають змогу своєчасно виявляти підвищену вологість, засміченість, зараженість шкідниками, металоманітні домішки, ознаки пліснявіння та самозігрівання зерна. Використання бункерів активного вентилявання БВ-40 додатково підвищує безпечність процесу, оскільки забезпечує стабілізацію вологого зерна перед сушінням або зберіганням.

Отже, впровадження елементів системи НАССР сприяє збереженню якості зерна кукурудзи, зниженню ризику його псування та забезпеченню стабільної роботи технологічної лінії елеватора.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка карти безпеки праці під час первинної обробки зерна кукурудзи

Карта безпеки праці для оператора лінії первинної обробки зерна кукурудзи розробляється з метою запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям під час роботи з технологічним обладнанням елеватора. До основних операцій належать приймання зерна, розвантаження автомобільного транспорту, транспортування зернової маси, магнітне очищення, сепарування, сушіння, активне вентилявання, зберігання та відвантаження зерна.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити справність транспортерів, норій, сепаратора, сушарки, вентиляторів, засувов, перекидних клапанів, огорожень, аварійних вимикачів і систем аспірації. Забороняється запускати обладнання за наявності сторонніх предметів у робочій зоні, відкритих кожухів, несправного електрообладнання або відсутності захисних огорожень.

Під час роботи необхідно контролювати рівномірність подачі зерна, відсутність забивання транспортерів і сепаратора, температуру зерна після сушіння, роботу вентиляторів та стан аспіраційної системи. У разі появи стороннього шуму, запаху горілого, перегріву обладнання, задимлення або аварійної зупинки лінії оператор повинен негайно припинити подачу зерна, зупинити обладнання та повідомити відповідальну особу.

У таблиці 5.1 представлені основні положення картки безпеки праці під час первинної обробки зерна.

Таблиця 5.1 – Карта безпеки праці оператора лінії первинної обробки зерна кукурудзи

Етап роботи	Можливі небезпечні чинники	Вимоги безпеки
Приймання та розвантаження зерна	Рух автотранспорту, пил, падіння зерна, травмування біля приймального бункера	Перебувати поза зоною руху автомобіля, не стояти біля краю бункера, використовувати спецодяг і респіратор
Робота транспортерів і норій	Захоплення одягу рухомими частинами, падіння з висоти, шум	Не відкривати кожухи під час роботи, не торкатися рухомих елементів, використовувати огороження та засоби захисту слуху
Магнітне очищення	Порізи під час очищення магнітів, накопичення металодомішок	Очищати магнітну колонку тільки після зупинки обладнання, працювати в рукавицях
Сепарування зерна	Пил, вібрація, шум, засмічення решіт, травмування під час обслуговування	Перевіряти стан сит після зупинки машини, користуватися респіратором, окулярами та захисними рукавицями
Сушіння зерна	Висока температура, пожежна небезпека, опіки, загазованість	Контролювати температуру сушильного агента, не допускати перегріву зерна, стежити за справністю вентиляції та автоматики
Активне вентилявання	Шум вентилятора, електробезпека, пил	Не проводити ремонт при ввімкненому вентиляторі, перевіряти справність електрообладнання, використовувати ЗІЗ
Зберігання у силосах	Самозігрівання зерна, пилвибухова небезпека, падіння з висоти	Контролювати температуру зерна, не входити в силос без дозволу, застосовувати страхувальні засоби
Відвантаження зерна	Рух транспорту, пил, падіння з майданчиків	Дотримуватися сигналів оператора, не перебувати під завантажувальними патрубками, використовувати захисні засоби

Після завершення зміни необхідно очистити робочу зону від пилу, зернових залишків і відходів, перевірити стан обладнання, вимкнути електроживлення та зробити відповідний запис у журналі роботи. Дотримання вимог карти безпеки праці забезпечує безпечну експлуатацію лінії, знижує ризик травмування персоналу та запобігає аварійним ситуаціям на елеваторі.

5.2 Шляхи утилізації відходів на підприємствах з первинної обробки зерна

Під час первинної обробки зерна кукурудзи на елеваторі утворюються зернові, смітні, пилові та органічні відходи. Основними джерелами їх утворення є приймальні бункери, транспортери, норії, магнітні колонки, сепаратори, сушарки та аспіраційні системи.

Зернові відходи, що містять биті, щуплі або недорозвинені зерна, можуть використовуватися як кормова сировина після контролю якості та відсутності шкідливих домішок. Смітні домішки рослинного походження – частини стебел, обгортки качанів, пил, лузга – можуть направлятися на компостування або використовуватися як органічна сировина для виробництва добрив.

Пилові відходи, які накопичуються в аспіраційних системах і циклонах, необхідно збирати окремо, оскільки вони можуть бути пожежо- та вибухонебезпечними. Їх утилізують шляхом передачі спеціалізованим організаціям або використовують у складі органічних сумішей за умови безпеки.

Металомагнітні домішки, вилучені магнітними колонками, збирають окремо та передають як металобрухт. Відходи, непридатні для кормового або технічного використання, повинні передаватися на утилізацію відповідним підприємствам згідно з вимогами екологічної безпеки.

Схематично, основні шляхи утилізації відходів на підприємствах з первинної обробки зерна представлено на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Основні шляхи утилізації відходів на підприємствах з первинної обробки зерна

Отже, раціональна утилізація відходів на елеваторі передбачає їх сортування, окреме збирання, використання придатних фракцій як кормової або органічної сировини та передачу небезпечних або непридатних відходів спеціалізованим організаціям.

Висновки за розділом

Визначено основні небезпечні чинники під час первинної обробки зерна кукурудзи, зокрема пил, шум, рухомі частини обладнання, високу температуру,

електронебезпеку, ризик падіння з висоти та пожежо- і вибухонебезпеку. Розроблена карта безпеки праці встановлює вимоги до безпечної роботи оператора, використання засобів індивідуального захисту, контролю справності обладнання та дій у разі аварійної ситуації.

Також обґрунтовано основні шляхи утилізації відходів елеваторного виробництва. Зернові відходи доцільно використовувати як кормову сировину, органічні домішки – для компостування або виробництва добрив, металоманітні домішки – передавати як металобрухт, а непридатні відходи – спеціалізованим організаціям. Це сприяє зниженню негативного впливу підприємства на довкілля та підвищує екологічну безпеку виробництва.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Метою модернізації технологічної лінії є підвищення продуктивності елеватора під час приймання вологого зерна кукурудзи за рахунок встановлення бункерів активного вентилявання БВ-40. У технологічному розділі встановлено, що бункери активного вентилявання дають змогу створити проміжний резерв для вологого зерна, стабілізувати його температурно-вологісний стан, зменшити ризик самозігрівання та забезпечити рівномірніше завантаження сушарки.

6.1 Вихідні дані для розрахунку

До модернізації річний обсяг приймання зерна кукурудзи становив $A_1 = 29000$ т.

Після модернізації передбачається збільшення обсягу приймання на 6000 т, тому загальний річний обсяг становитиме $A_2 = 35000$ т.

Приріст обсягу обробки зерна:

$$\Delta A = A_2 - A_1, \quad (6.1)$$

$$\Delta A = 35000 - 29000 = 6000 \text{ т.}$$

Приріст продуктивності підприємства:

$$\Pi = \frac{\Delta A}{A_1} 100 \%, \quad (6.2)$$

$$\Pi = \frac{6000}{29000} 100 = 20,7 \%$$

Отже, після модернізації річний обсяг приймання та первинної обробки зерна кукурудзи зростає на 20,7 %. У проєктній частині передбачено встановлення двох бункерів активного вентилявання БВ-40 місткістю 40 т кожний, що використовуються для тимчасового накопичення і вентилявання зерна перед подальшою обробкою.

6.2 Розрахунок капітальних вкладень

Для спрощеного техніко-економічного розрахунку приймаємо орієнтовну вартість одного бункера активного вентилявання БВ-40 – 850,0 тис. грн.

Результати розрахунку капітальних вкладень представлені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Капітальні витрати на модернізацію

Стаття витрат	Сума, тис. грн
Придбання 2 бункерів БВ-40	1700,0
Монтажні роботи, 20 % від вартості обладнання	340,0
Електромонтажні роботи та підключення	250,0
Проєктні та пусконаладжувальні роботи	100,0
Транспортні витрати	85,0
Разом капітальні вкладення	2475,0

Загальна сума капітальних вкладень становить $K = 2475$ тис. грн.

6.3 Розрахунок додаткового доходу

Додатковий дохід підприємство отримує за рахунок збільшення обсягу приймання, очищення, вентилявання, зберігання та відвантаження зерна кукурудзи. Для розрахунку приймаємо середній дохід від надання послуг з первинної обробки та зберігання зерна $C = 300$ грн/т.

Тоді додатковий річний дохід становитиме:

$$D = \Delta A \cdot C, \quad (6.3)$$

$$D = 6000 \cdot 300 = 1800000 \text{ грн.}$$

Також модернізація зменшує втрати якості зерна під час очікування сушіння, оскільки активне вентилявання запобігає самозігріванню та погіршенню стану вологого зерна. Активне вентилявання є менш енергоємним порівняно з повноцінним сушінням і виконує функцію попередньої стабілізації зернової маси.

Орієнтовний економічний ефект від зменшення втрат зерна приймаємо на рівні 0,3 % від додатково прийнятого обсягу $M_{BT} = 6000 \cdot 0,003 = 18$ т.

За умовної вартості зерна кукурудзи 6000 грн/т економія від зменшення втрат становитиме $E_{BT} = 18 \cdot 6000 = 108000$ грн.

Загальний додатковий річний результат $D_{zag} = 1800,0 + 108,0 = 1908,0$ тис. грн.

6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

До поточних витрат після модернізації належать витрати на електроенергію, технічне обслуговування, ремонт і оплату праці персоналу, результати розрахунку річних експлуатаційних витрат представлені у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Річні експлуатаційні витрати після модернізації

Стаття витрат	Сума, тис. грн
Електроенергія на роботу вентиляторів	279,3
Технічне обслуговування і поточний ремонт	124,0
Додаткові витрати на оплату праці	176,0
Інші виробничі витрати	50,0
Разом експлуатаційні витрати	629,3

Річний економічний ефект визначаємо за формулою:

$$E = D_{\text{заг}} - B_{\text{експ}} , \quad (6.4)$$

$$E = 1908,0 - 629,3 = 1278,7 \text{ тис.грн.}$$

Отже, річний економічний ефект від модернізації становить 1278,7 тис. грн.

6.5 Розрахунок строку окупності

Строк окупності капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$T = \frac{K}{E} , \quad (6.5)$$

де K – капітальні вкладення, тис. грн;

E – річний економічний ефект, тис. грн.

$$T = \frac{2475,0}{1278,7} = 1,94 \text{ року}$$

Отже, строк окупності проекту модернізації становить приблизно 1,9 року.

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$K_{\text{еф}} = \frac{E}{K} , \quad (6.6)$$

$$K_{\text{еф}} = \frac{1278,7}{2475,0} = 0,52$$

Рентабельність капітальних вкладень:

$$P = K_{ef} \cdot 100, \quad (6.7)$$

$$P = 0,52 \cdot 100 = 52,0 \%$$

6.6 Основні техніко-економічні показники

Результати розрахунку основних техніко-економічних показників представлені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Техніко-економічні показники проєкту модернізації

Показник	До модернізації	Після модернізації
Річний обсяг приймання зерна, т	29000	35000
Приріст обсягу обробки, т	-	6000
Приріст продуктивності, %	-	20,7
Кількість бункерів активного вентилявання БВ-40, шт.	-	2
Загальна місткість бункерів, т	-	80
Капітальні вкладення, тис. грн	-	2475,0
Додатковий річний дохід, тис. грн	-	1800,0
Економія від зменшення втрат зерна, тис. грн	-	108,0
Річні експлуатаційні витрати, тис. грн	-	629,3
Річний економічний ефект, тис. грн	-	1278,7
Строк окупності, років	-	1,9
Рентабельність капітальних вкладень, %	-	52,0

Висновки за розділом

Виконаний розрахунок показав, що модернізація технологічної лінії з первинної обробки зерна кукурудзи шляхом встановлення двох бункерів активного вентилявання БВ-40 є економічно доцільною. Річний обсяг приймання

зерна збільшується з 29000 до 35000 т, тобто на 6000 т, або на 20,7 %. Річний економічний ефект становить 1278,7 тис. грн, строк окупності капітальних вкладень – близько 1,9 року, а рентабельність капітальних вкладень – 52,0 %.

Отже, запропонована модернізація забезпечує підвищення продуктивності елеватора, зменшення втрат якості вологого зерна, стабілізацію роботи сушильного обладнання та покращення економічних показників підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Встановлено, що модернізація технологічних ліній елеваторів є актуальною, оскільки зерно кукурудзи часто надходить на підприємства з підвищеною вологістю, нерівномірною якістю та потребує своєчасного очищення, сушіння, вентилявання і безпечного зберігання.

Охарактеризовано зерно кукурудзи як складний об'єкт зберігання. Визначено, що основними факторами, які впливають на його якість, є вологість, засміченість, температура зернової маси, стан зародка, інтенсивність дихання та розвиток мікрофлори. Для безпечного зберігання зерно повинно відповідати вимогам ДСТУ 4525:2006, бути здоровим, без стороннього запаху, не зараженим шкідниками та мати вологість не більше 15,0 %.

Проаналізовано діючу технологічну лінію первинної обробки зерна кукурудзи, яка включає приймання, зважування, лабораторний контроль, магнітне очищення, сепарування, сушіння, транспортування, зберігання у силосах та відвантаження. Встановлено, що основним недоліком існуючої схеми є недостатня гнучкість під час масового надходження вологого зерна, що створює перевантаження сушарки та може спричинити простої обладнання.

Для усунення виявлених недоліків запропоновано модернізацію лінії шляхом встановлення двох бункерів активного вентилявання БВ-40. Їх використання забезпечує проміжне накопичення вологого зерна, стабілізацію температурно-вологісного стану, зменшення ризику самозігрівання та рівномірніше завантаження зерносушарки.

Виконано технологічні розрахунки лінії з урахуванням збільшення річного обсягу приймання зерна кукурудзи до 35000 т. Обґрунтовано встановлення основного обладнання: сепаратора А1-БЦС-100, двох бункерів БВ-40, зерносушарки Sukur TE-2012E, транспортерів, норій та автомобілерозвантажувача.

Визначено, що частина зерна, яку сушарка не встигає обробити в межах розрахункового періоду, повинна направлятися у бункери активного

вентилювання. Це дозволяє зменшити навантаження на сушильне обладнання, запобігти погіршенню якості вологого зерна та підвищити стабільність роботи всієї технологічної лінії.

Обґрунтовано компонування робочої башти елеватора. Прийнято п'ятиповерхову башту загальною висотою 24,0 м. Сепаратор А1-БЦС-100 розміщено на середньому технологічному рівні, що забезпечує раціональний самопливний рух зерна. Площа поверху із сепаратором становить 42,0 м².

Розроблено елементи системи НАССР для елеватора з первинної обробки зерна кукурудзи. Визначено основні біологічні, хімічні та фізичні небезпечні чинники, а також контрольні етапи: приймання, лабораторний аналіз, магнітне очищення, сепарування, сушіння, активне вентилявання, зберігання та відвантаження.

Розроблена карта безпеки праці для оператора лінії первинної обробки зерна кукурудзи. Визначено основні небезпеки: пил, шум, рухомі частини обладнання, високу температуру, електробезпеку, ризик падіння з висоти, пожежо- та вибухонебезпеку.

Обґрунтовано шляхи утилізації відходів елеваторного виробництва. Зернові відходи доцільно використовувати як кормову сировину, органічні домішки – для компостування або виробництва добрив, металоманітні домішки – передавати як металобрухт, а непридатні відходи – спеціалізованим організаціям.

Виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту модернізації. Встановлено, що річний обсяг приймання зерна збільшується з 29000 до 35000 т, тобто на 6000 т, або на 20,7 %. Річний економічний ефект становить 1278,7 тис. грн, строк окупності капітальних вкладень – близько 1,9 року, рентабельність капітальних вкладень – 52,0 %.

Отже, запропонована модернізація технологічної лінії з первинної обробки зерна кукурудзи є технологічно та економічно доцільною. Вона забезпечує підвищення продуктивності елеватора, зменшення втрат якості вологого зерна, стабілізацію роботи сушильного обладнання, покращення умов зберігання кукурудзи та підвищення ефективності роботи підприємства.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Гайдай В. А. Проектування зернопереробних підприємств з основами САПР : навч. посіб. / В. А. Гайдай. Київ : ЦУЛ, 2014. 240 с.
2. Післязбиральна обробка та зберігання зерна : навч. посібник / М. Я. Кирпа. Дніпро : ВЕД «Коло», 2014. 268 с.
3. Соколов В. П. Обладнання підприємств з переробки зерна : навч. посіб. / В. П. Соколов, М. С. Гапонюк. Київ : Аграрна освіта, 2010. 380 с.
4. Хоменко М. М. Автоматизація технологічних процесів переробки зерна : навч. посіб. / М. М. Хоменко. Київ : НУХТ, 2011. 180 с.
5. Бурдо О. Г. Інноваційні технології переробки зернової сировини : навч. посіб. / О. Г. Бурдо. Одеса : Поліграф, 2013. 244 с.
6. Вершиняк В. М. Технологічне обладнання зернопереробних підприємств : підручник / В. М. Вершиняк. Вінниця : ВНТУ, 2015. 312 с.
7. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник / Г. І. Подпряттов, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, К. А. Паламарчук. Київ : Вища освіта, 2002. 495 с.
8. Піоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
9. Піоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна: Навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
10. Технологічне обладнання зернопереробних підприємств : підручник / Т. Є. Лебеденко, О. М. Коваленко, В. О. Моргун. Одеса : ОНТЦ, 2018. 432 с.
11. Піоваров О. А., Ковальова О. С., Тертишний О. О., Кошулько В. С. Інноваційні технології у виробництві цукристих речовин та продуктів харчування: Навчальний посібник. Дніпро: 2026. 622 с.
12. Проектування зернопереробних підприємств з основами САПР : навч. посібник / В. І. Сенько, М. О. Кулик. Київ : Кондор, 2011. 360 с.

13. ДСТУ 4525:2006. Кукурудза. Технічні умови : [вперше зі змінами № 1, № 2]. – Вид. офіц. – Київ : Держспоживстандарт України, 2006. – 18 с.
14. ДСТУ ISO 6540:2007. Кукурудза. Визначання вмісту вологи (у подрібнених та цілих зернах) (ISO 6540:1980, IDT). – Вид. офіц. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 14 с.
15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Захист від небезпечних кліматичних впливів. Будівельна кліматологія».
16. Handbook of Industrial Drying : [monograph] / ed. by A. S. Mujumdar. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2014. 1346 p.
17. Grain Drying: Theory and Practice / S. Sokhansanj, D. S. Jayas. Winnipeg : Agribusiness Publishers, 2006. 420 p.
18. Corn: Chemistry and Technology / ed. by S. O. Serna-Saldivar. 3rd ed. St. Paul : AACC International Press, 2018. 694 p.
19. Storage of Cereal Grains and Their Products / ed. by K. J. Moore, D. S. Jayas. 5th ed. St. Paul : AACC International Press, 2022. 710 p.
20. MWPS-13. Grain Drying, Handling, and Storage Handbook / Midwest Plan Service. 3rd ed. Ames : Iowa State University, 2017. 160 p.
21. Ковальова, О. С. (2022). Перспективи знезараження зернової сировини шляхом використання плазмохімічно активованих розчинів.
22. Хомик, Н. І., Олексюк, В. П., & Цьонь, О. П. (2015). Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій.
23. Кобець, А. С., Сокол, С. П., Пугач, А. М., Чурсінов, Ю. О., Півоваров, О. А., Миколенко, С. Ю., ... & Худайбердієва, К. А. (2022). Землеробська механіка. Т. 4. Інноваційні технології харчових виробництв.
24. Кобець, А. С., Чурсінов, Ю. О., Черних, С. А., Сабадаш, М. П., Грекова, Н. В., & Канунніков, В. П. (2014). Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна.
25. Чурсінов, Ю. А., Ковальова, О. С., Калина, В. С., Пилипенко, Г. О., & Хомик, Н. І. (2020). Аналітичне дослідження перспективи процесів автоматизації прийому, оцінки якості та закладання зерна на зернопереробних підприємствах.

26. Сандецька, Н. В., & Дубровна, О. В. (2025). Сучасний стан досліджень якості зерна пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*, 57(3), 187-222.